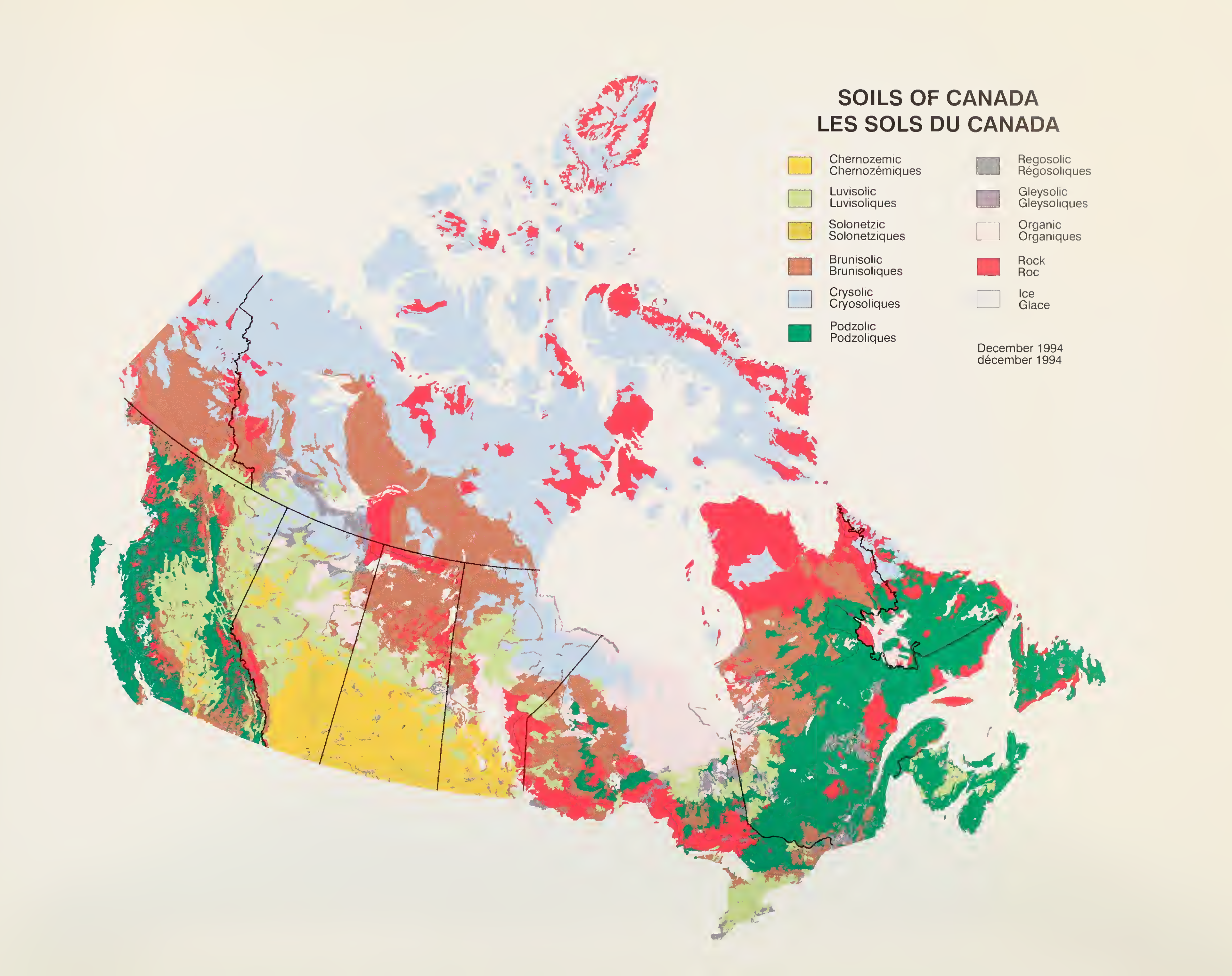
Agriculture et Agroalimentaire Canada / Agriculture and Agri-Food Canada
Direction générale de la recherche / Research Branch



La santé de nos sols

vers une agriculture durable au Canada

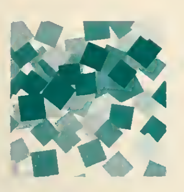



SOILS OF CANADA
LES SOLS DU CANADA
Chernozemic
Chernozémiques
Luvisolic
Luvisoliques
Solonetzic
Solonetziques
Brunisolic
Brunisoliques
Crysolic
Cryosoliques
Podzolic
Podzoliques
Regosolic
Régosoliques
Gleysolic
Gleysoliques
Organic
Organiques
Rock
Roc
Ice
Glace
December 1994
décember 1994

La santé de nos sols

vers une agriculture durable au Canada





La santé de nos sols

Vers une agriculture durable au Canada

D.F. Acton et L.J. Gregorich (dir. de publ.)

Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques
Direction générale de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada

Publication 1906/F

1995



Centre for Land and Biological Resources Research
Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques

Pour obtenir d'autres exemplaires :
Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques/DGR, AAC
Immeuble K.W. Neatby, FEC
Ottawa (Ontario) K1A 0C6

N° de catalogue A53–1906/1995F
ISBN 0–660–94941–5

Données de catalogage avant publication (Canada)

La santé de nos sols : vers une agriculture
durable au Canada / D.F. Acton et L.J.
Gregorich, dir. de publ. —

(Publication ; 1906/F)

Publ. aussi en anglais sous le titre : The health
of our soils.
Cat. no. A53–1906/1995F

1. Sols—Canada—Qualité. 2. Sols—Dégradation-
-Canada. I. Acton, D. F. (Donald F.) II.
Gregorich, L. J. III. Centre de recherches sur
les terres et les ressources biologiques
(Canada) IV. Canada. Agriculture et
agroalimentaire Canada. V. Coll.: Publication
(Canada. Agriculture et agroalimentaire Canada)
; 1906/F.

S625.C3S26 1995 631.4'971 C95–982002–7

Also available in English under the title
The Health of Our Soils: Toward sustainable agriculture in Canada

Rédacteur scientifique : L.J. Gregorich
Conception : Judy McCarthy
Révision : N. Rousseau

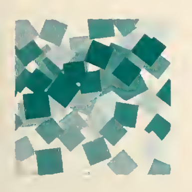
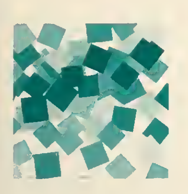


Table des matières

Référence correcte
D.F. Acton et L.J. Gregorich (dir. de publ.) 1995. La santé de nos sols : vers une agriculture durable au Canada. Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa, (Ontario). xiv + 138 pp.

Chaque chapitre peut être cité comme suit :
[Nom(s) de l'auteur (des auteurs) du chapitre]. 1995. [En-tête du chapitre]. Pages [...] – [...] *in* D.F. Acton et L.J. Gregorich (dir. de publ.), La santé de nos sols : vers une agriculture durable. Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario).



Avant-propos

La dégradation des sols représente la menace la plus importante, à long terme, pour l'industrie agricole. Cette affirmation ne minimise d'aucune façon la crise économique qui sévit actuellement dans certains secteurs de l'agriculture, mais il faut préciser que les problèmes économiques sont cycliques par nature et on peut donc espérer que le monde agricole surmontera ses difficultés dans un proche avenir. Par contre, on ne peut avoir la même attitude face à la dégradation des sols que nous subissons actuellement, que nous subirons demain, l'an prochain et pour toujours. À défaut de vigilance, notre industrie agricole perdra sa compétitivité au cours des toutes prochaines années. Sa prospérité repose à la fois sur l'état de santé des sols et l'importance de leur superficie.

La dégradation des sols n'est pas seulement un problème qui affecte des régions isolées de notre pays. Plusieurs facteurs de dégradation s'attaquent à toutes les régions agricoles du Canada : l'érosion causée par le vent et l'eau, l'acidification, la salinisation, la perte de matières organiques ou l'empiétement urbain à des fins commerciales, résidentielles ou publiques.

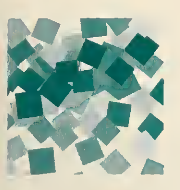
Depuis le rapport sénatorial de 1984 intitulé *Nos sols dégradés: le Canada compromet son avenir*, nous sommes plus conscients de ce qu'est la dégradation et de ses répercussions sur les sols et l'industrie agricole. Le rapport a suscité l'adoption de certaines mesures en vue d'atténuer le problème. J'ai déclaré en 1984 qu'à moins de prendre rapidement des mesures, nous allions perdre une grande partie de nos terres agricoles au cours des cent prochaines années. Depuis, l'adoption de plusieurs formes de conservation a permis de repousser cette échéance, mais pas suffisamment. Ne nous y trompons pas, la superficie de terres agricoles productives est limitée et, si nous ne prenons pas grand soin de cette précieuse ressource, nous risquons de manquer de nourriture dans un avenir plutôt rapproché.

Au cours d'une discussion sur les problèmes causés par l'empiétement urbain sur nos terres agricoles, le maire d'une municipalité, intéressé par l'expansion du territoire de sa ville, posa la question suivante:"De combien de terres aura besoin l'agriculture au cours des cent prochaines années?" J'ai été consterné par cette question. J'ai répondu que je pouvais évaluer la superficie de terres qu'on devait consacrer au développement résidentiel ou commercial au cours des cent prochaines années, mais que personne ne pouvait me poser une telle question sur les terres parce que nous en avons besoin pour toujours.

Je suis très satisfait de ce nouveau rapport : *La santé de nos sols : vers une agriculture durable au Canada*. C'est un document de grande valeur et il arrive à point pour mieux faire comprendre ce problème très grave. Il indique tout ce qui a été fait pour la protection des sols, mais il montre aussi ce qui reste à accomplir.

Hon. Herbert O. Sparrow
Sénateur





Préface

Beaucoup de choses ont été dites et écrites sur la santé des sols du domaine agricole canadien. Depuis une quinzaine d'années, plusieurs groupes et organismes, dont le Conseil des sciences du Canada, le Comité sénatorial permanent de l'agriculture, des pêches et des forêts, les ministères fédéral et provinciaux de l'agriculture, diverses universités et des organisations non gouvernementales comme l'Institut agricole du Canada, ont produit sur le thème de la qualité des sols des rapports divergents quant à leurs perspectives, leur style, leur contenu, leur validité, leur méthodologie scientifique et leurs interprétations. Tous concluaient que la dégradation des sols représentait un grave sujet de préoccupation, mais il était impossible de tirer de ces rapports, pris individuellement ou collectivement, une évaluation exhaustive de la qualité des sols au Canada. Certaines de leurs constatations ont d'ailleurs été remises en question par de récentes recherches sur la qualité des sols. Aujourd'hui, de nombreux experts contestent ou nuancent les conclusions avancées sur l'étendue et la gravité du problème de dégradation des sols au Canada, sur ses coûts économiques et écologiques et sur les effets des méthodes d'utilisation et d'aménagement des terres.

Les premiers rapports sur la qualité des sols ont réussi à nous sensibiliser aux effets de la dégradation des sols sur la production durable d'aliments de bonne qualité, à la négligence caractérisant notre utilisation du sol et l'application de certaines pratiques agricoles, et aux conséquences néfastes susceptibles d'en découler pour l'environnement. Si les années 1980 ont donné lieu à une prise de conscience qui a mis au grand jour le sort des sols agricoles canadiens, alors les années 1990 sont une décennie de guérison axée sur la recherche de moyens de mesurer et de bonifier la qualité des sols. Le danger que la dégradation des sols demeure un thème émotif de discussion plutôt qu'un état mesurable commence à s'estomper.

Constatant l'inexistence de méthode exhaustive pour suivre l'état de santé des terres agricoles canadiennes, un comité mixte composé des ministres fédéral et provinciaux de l'Agriculture a recommandé, dans la Stratégie agricole nationale de 1986, que la surveillance des ressources en sols et en eau soit intégrée aux futurs plans agricoles. Le gouvernement fédéral a donc établi le Programme national de conservation des sols, pour surveiller la qualité des sols canadiens et déterminer si la dégradation des sols agricoles était un phénomène en voie d'atténuation ou d'aggravation.

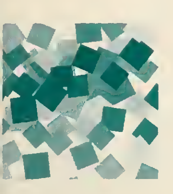
La Direction générale de la recherche, à Agriculture Canada, a chargé le Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques d'élaborer et de coordonner un programme national de surveillance de la qualité des sols. Au terme de nombreuses rencontres entre les autorités fédérales et provinciales, le milieu universitaire et le secteur privé, le Programme d'évaluation de la qualité des sols a été approuvé comme première étape du processus de surveillance de la qualité des sols au Canada. Ce programme visait à donner au Canada la capacité d'évaluer la qualité des sols et de leur environnement, ainsi que les effets des pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres sur cette qualité. À partir de cette information, les agriculteurs, les conseillers agricoles, les décideurs et le grand public peuvent alors travailler à la

conservation et à la préservation des terres agricoles canadiennes, au profit des générations futures.

Le présent rapport expose certains des premiers signes de santé des sols et de qualité des eaux observés par le Programme d'évaluation de la qualité des sols et dans le cadre d'activités connexes, un peu partout au pays. Aldo Leopold, écologiste et conservationniste américain de renom, faisait remarquer il y a de nombreuses années que «les merveilleux progrès de la technologie agricole représentent des améliorations de la pompe plutôt que du puits», et que «acre pour acre, ils ont à peine suffi à contrebalancer la chute de la fertilité». Les auteurs de ce rapport font état des efforts en cours pour mesurer «l'eau du puits» et déterminer si les «améliorations de la pompe» constituent réellement, après tout, des améliorations.

Aldo Leopold a également souligné que, dans la poursuite d'idéaux élevés, l'important n'est pas nécessairement de les atteindre mais de tendre à les concrétiser. L'idéal vers lequel nous tendons consiste à élaborer des mesures précises de la santé des sols et de la qualité de l'environnement pour l'ensemble des sols agricoles canadiens. Le présent document représente un pas important dans cette direction, qui facilitera grandement l'utilisation efficace et la préservation des précieuses ressources en sols du Canada.

Don Acton
Chef du Programme d'évaluation de la qualité des sols



Sommaire exécutif

D.F. Acton et L.J. Gregorich

Introduction

- Le sol soutient la croissance de la majorité des plantes alimentaires et des plantes à fibres; il contribue au bien-être de la population et à la stabilité de l'économie.
- Un sol en santé est un élément essentiel d'un environnement sain et sous-tend l'agriculture durable.
- En agriculture, la santé (ou qualité) du sol représente sa *capacité à soutenir la croissance de cultures sans se dégrader ou nuire autrement à l'environnement.*
- L'état de santé des sols agricoles canadiens est illustré par la présentation des principales constatations de récentes recherches sur :
  - la matière organique et la structure du sol
  - les processus qui dégradent le sol, dont l'érosion, la salinisation et la contamination chimique
  - la contamination des eaux souterraines
  - le rôle des pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres dans la dégradation, le maintien ou l'amélioration de la qualité des sols.

Un cadre géographique pour l'évaluation de la qualité du sol

- Selon une comparaison des terres agricoles potentiellement cultivables et effectivement cultivées dans les Prairies et le sud de l'Ontario, toutes les bonnes terres et une bonne partie des terres marginales sont déjà en exploitation.
- La santé des sols a été évaluée à grande échelle au moyen de nouveaux indices de qualité du sol et de susceptibilité au changement.
- Les secteurs menacés par une diminution de la qualité du sol sont les régions arides et salines des Prairies, et plus particulièrement les champs en jachère, ainsi que les zones cultivées intensivement (spécialement en rangs) dans le sud de l'Ontario.
- Le travail de conservation est largement employé sur plus de 60 % de l'espace agricole des Prairies et plus de 40 % de celui du sud de l'Ontario.
- La qualité du sol est limitée à la fois par les conditions du sol et du paysage et les pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres sur 2,4 % des terres agricoles des Prairies et 7,3 % de celles du sud de l'Ontario.

Réseau de lieux témoins (sites repères)

- En 1989, on a établi 23 lieux témoins dans l'ensemble du Canada pour surveiller la qualité du sol dans des systèmes agricoles et des milieux représentatifs.
- On mesure régulièrement les propriétés pédologiques pour déterminer les effets des pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres.
- En 1995, on aura recueilli des ensembles de données de référence pour tous les sites; on a entrepris de prélever une nouvelle série d'échantillons, ce qui a permis une première évaluation des effets de la dégradation du sol.

Matière organique du sol

- Sur des sols non érodés, on a mesuré que la perte de matière organique atteignait 15 à 30 % depuis leur mise en culture initiale (comparativement aux estimations antérieures de 50 à 70 %).
- Les pertes surviennent surtout durant les 10 premières années; en l'absence d'érosion, la concentration diminue rapidement à environ 80 % de la teneur initiale et se stabilise; en cas d'érosion, elle peut chuter beaucoup plus rapidement et, même après 70 ans, ne pas se stabiliser.
- On a maintenu ou augmenté les concentrations dans certaines terres agricoles canadiennes en adoptant des pratiques de conservation qui réduisent l'érosion et accroissent l'apport de matière organique.

Structure du sol

- La dégradation structurale menace les sols à la texture fine, humides, pauvres en matière organique et érodés.
- Le compactage du sol est un grave problème dans toutes les régions agricoles sauf les Prairies, où le sol présente naturellement une bonne structure.
- L'enrichissement du sol en matière organique et la réduction de l'érosion contribuent à en améliorer la structure; les pratiques bénéfiques comprennent le travail de conservation, la gestion des résidus, les rotations culturales étendues avec cultures fourragères et les pratiques antiérosives.

Érosion

- Sur 20 % du territoire agricole canadien, le risque inhérent (sol nu) d'érosion hydrique est élevé à aigu (spécialement dans les endroits où la culture en rangs est pratiquée intensivement); le recours aux pratiques de conservation a fait diminuer le risque global d'érosion hydrique au Canada d'au moins 11 % depuis 1981, mais sous les pratiques culturales de 1991, le risque s'élève à 16 % des terres cultivées en Ontario et 5 % dans les Prairies.
- Le risque inhérent (sol nu) d'érosion éolienne est élevé à aigu sur 36 % de la superficie des Prairies, mais sous les pratiques culturales de 1991, le risque est moins de 5 % des terres cultivées en Ontario et dans les Prairies; le risque global d'érosion éolienne au Canada a diminué d'au moins 7 % depuis 1981 grâce à la modification des pratiques culturales et des régimes de labour.

- Les pratiques suivantes combattent l'érosion : travail de conservation, gestion des résidus, extension des rotations culturales, contre-ensemencement, couvertures végétales hivernales, brise-vent, cultures en bandes alternantes, cultures en courbes de niveaux et restructuration du paysage (aménagement de terrasses, de dérivations et de voies d'eau gazonnées).

Salinisation

- 62 % des terres agricoles des Prairies sont salines sur moins de 1 % de leur superficie; 36 % sont salines sur 1 à 15 % de leur étendue, et 2 % sur plus de 15 %.
- Sous les pratiques de gestion en vigueur en 1991, 66 % des terres agricoles des Prairies courent un faible risque de salinisation; 27 % courent un risque modéré, et 7 % un risque élevé.
- Le risque de salinisation a diminué de 19 % au Manitoba depuis 1981, probablement grâce aux pratiques de conservation (conversion à une couverture végétale permanente et extension des rotations culturales).

Contamination du sol

- La contamination par les pesticides n'est pas un problème sérieux; les quelques cas localisés sont causés par un épandage effectué au cours de la saison de croissance précédente ou avant l'interdiction de certains pesticides persistants dans les années 1970.
- Les contaminants organiques non anti-parasitaires qu'on détecte à l'occasion se décomposent facilement et ne semblent pas représenter une menace.
- Les métaux lourds sont les contaminants les plus préoccupants, en raison de leur persistance et du risque qu'ils pénètrent la chaîne alimentaire humaine; on doit en limiter les concentrations.
- L'épandage sur le sol est une bonne méthode de gestion des boues d'épuration, en autant qu'on respecte les normes concernant les teneurs en métaux lourds; on examine actuellement la nécessité d'établir des normes pour les produits chimiques organiques.

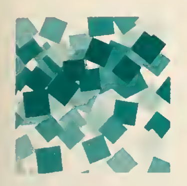
Produits agrochimiques dans les eaux souterraines

- La pénétration des nitrates dans les eaux souterraines est un problème généralisé au Canada; les taux sont généralement inférieurs aux concentrations maximales acceptables, mais ils sont susceptibles de les dépasser dans les secteurs soumis à une activité agricole intensive, notamment le sud littoral de la Colombie-Britannique, les Maritimes et les secteurs où l'on a recours massivement à la fumure et à l'irrigation.
- Les concentrations de pesticides dans les eaux souterraines sont presque toujours inférieures aux concentrations maximales acceptables, surtout grâce à l'emploi de pesticides moins persistants et plus spécifiques que par le passé.
- La présence de bactéries dans les eaux souterraines résulte en général de l'épandage de lisier liquide; leur présence dans les puits est causée généralement par des fuites ponctuelles (ex. les tas de fumier).

- On peut réduire le lessivage des produits agrochimiques en adaptant les apports d'engrais aux besoins des cultures, en réglementant les doses, en raffinant les méthodes d'épandage des produits agrochimiques et d'irrigation et en adoptant des méthodes de lutte antiparasitaire intégrée.

Sommaire

- Au Canada, certains sols agricoles voient leur état de santé s'améliorer et deviennent moins susceptibles à l'érosion et aux autres agents négatifs, surtout grâce à la popularité croissante, depuis 10 ans, des méthodes agricoles de conservation.
- Il s'agit là d'une faible tendance, qui ne s'applique pas à tous les sols.
- Le choix de pratiques appropriées d'utilisation et d'aménagement des terres est essentiel au maintien et à l'amélioration de la santé des sols agricoles.
- Pour faire de l'agriculture durable une réalité concrète, les autorités gouvernementales doivent adopter de nouvelles politiques sur la conservation des sols, reposant sur le principe selon lequel les écosystèmes agricoles font partie d'un environnement plus global.
- Il est préférable de concevoir les programmes de gestion des sols au niveau de la ferme, en intégrant les pratiques de gestion aux besoins particuliers et locaux du sol.



Introduction

L.J. Gregorich

La majorité des gens savent qu'ils ont besoin d'air pur et d'eau salubre pour demeurer en santé. Cependant, peu sont conscients du fait que leur bien-être dépend également de la santé d'un autre élément de l'environnement : le sol. Le sol soutient la croissance de la majorité de nos aliments et de nos fibres; sa productivité est donc un facteur important dans l'économie du Canada et des autres pays. Mais le rôle des sols sur notre planète est beaucoup plus vaste : ils servent de filtres pour assainir l'air et l'eau. Ils échangent des gaz avec l'atmosphère et influencent ainsi le climat mondial; ils reçoivent des déchets organiques dont ils recyclent les éléments nutritifs au profit des végétaux; enfin, ils retiennent et décomposent certains déchets *toxiques*. En raison de leur fonction primordiale dans la santé, les économies et la stabilité écologique de la planète, nous devons conserver les sols et les utiliser de façon durable.

À nos terres, ce précieux héritage, gage d'une vie livre, va toute notre reconnaissance. Le sol est le réservoir de la vie.

J.A. Toogood
Our Soil and Water

Agriculture durable

L'*agriculture durable* est une façon de pratiquer l'agriculture pour qu'elle se perpétue durant les générations à venir. Elle procède d'une perspective à long terme combinant l'efficacité de la production à une gestion éclairée des ressources de notre planète. Au fil du temps, on espère que l'agriculture durable répondra aux attentes suivantes :

- satisfaire aux besoins en aliments et en fibres de l'humanité
- protéger le capital-nature et prévenir l'altération de la qualité des sols et des eaux
- utiliser efficacement les *ressources non renouvelables*
- tirer profit des cycles et des moyens de lutte biologiques naturels
- assurer la survie économique de l'agriculture et le bien-être des agriculteurs et de leurs familles.

Le plus important lien entre les pratiques agricoles et l'agriculture durable (fig. 0-1) réside dans la santé, ou la qualité, de nos sols agricoles. Si les sols se dégradent, nous devrons consacrer davantage de ressources (temps, argent, énergie et produits chimiques) à la production de récoltes moins abondantes et de moindre qualité, et nous ne pourrons atteindre les objectifs de l'agriculture durable. D'un autre côté, si nous pouvons inverser le phénomène de *dégradation* et préserver ou améliorer la *santé des sols* en recourant à des pratiques agricoles judicieuses, alors l'agriculture durable pourrait devenir réalité.

La santé des sols agricoles canadiens

La plupart des producteurs savent, par expérience, qu'on ne peut exploiter la

début de chaque chapitre une liste des points saillants qui renferment les principaux sujets d'intérêt.

Nous souhaitons que ce rapport puisse être compris par des profanes. Cependant, nous n'avons pas complètement omis les termes et les concepts techniques, qui figurent en italique et sont définis, à la fin du rapport, dans un glossaire comprenant d'autres définitions utiles.



Comprendre la santé des sols

D.F. Acton et L.J. Gregorich

Points saillants

- La santé du sol est un indicateur de la santé de l'environnement et, à l'instar de la santé humaine, donne une idée globale de l'état d'un grand nombre de propriétés et de processus. On peut utiliser indifféremment les expressions *santé des sols* et *qualité des sols.*
- La santé (ou qualité) du sol est sa capacité à soutenir la croissance de cultures sans se dégrader ou nuire autrement à l'environnement.
- La qualité des sols évolue lentement sous l'action des processus naturels, comme l'altération atmosphérique, et plus rapidement sous l'action de l'activité humaine; les pratiques d'utilisation des terres et d'agriculture peuvent causer une amélioration ou une détérioration de la qualité des sols.
- La santé des sols se dégrade surtout par l'érosion éolienne et hydrique, la perte de matières organiques, la détérioration de la structure du sol, la salinisation et la contamination chimique.

Introduction

Les sols servent à plusieurs choses : construction de routes et d'immeubles, élimination des déchets, production de cultures, etc. Les définitions les plus pratiques de la santé des sols ont trait à leurs fonctions, à leur finalité. La définition généralement utilisée par les chercheurs agricoles met l'accent sur la productivité du sol — un sol en santé produit des récoltes abondantes et de grande qualité. Depuis une dizaine d'années toutefois, nous envisageons l'agriculture selon une optique différente. Elle n'est plus considérée comme une activité en circuit fermé, mais plutôt comme un élément qui s'insère dans un système écologique beaucoup plus vaste et qui interagit avec les autres éléments du système. Il nous faut donner à la santé des sols une nouvelle définition qui transcende la productivité et qui tisse des liens avec l'environnement dans son ensemble. Nous définissons donc la santé des sols, en agriculture, comme *la capacité du sol à soutenir la croissance de cultures sans se dégrader ou nuire autrement à l'environnement.*

Les expressions *santé des sols* et *qualité des sols* sont interchangeables. *Santé des sols* est l'expression communément utilisée par les producteurs et la presse non spécialisée, tandis que les chercheurs et les rédacteurs scientifiques privilégient plutôt *qualité des sols.* Certains auteurs ont tenté de jumeler les deux termes en parlant de *santé/qualité des sols.* Nous préférons, dans le reste du présent rapport, employer l'un ou l'autre terme pour exprimer le même concept.

Cette mince couche de sol qui recouvre la surface de la terre fait toute la différence entre la survie et l'extinction pour la plupart des êtres vivants.

John W. Doran et Timothy B. Parkin
Defining and Assessing Soil Quality

> De nombreuses façons, la qualité du sol est une mesure de la santé de l'écosystème. Conserver la qualité du sol signifie protéger toute la gamme des services écologiques que nous fournissent les sols de haute qualité.
>
> Sandra S. Batie et Craig A. Cox
> *Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture*

Évaluation de la qualité des sols

La santé humaine constitue un tableau composite de l'état des diverses parties et fonctions du corps. Pour évaluer la santé humaine, on examine de nombreux facteurs (dont la fonction physique, la capacité mentale et l'équilibre émotionnel) et l'on se forme une idée générale du mode de fonctionnement du corps et de l'esprit. De la même façon, la qualité du sol est un tableau composite de l'état des nombreuses propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, ainsi que des processus qui interagissent pour déterminer cette qualité. En outre, tout comme la santé humaine varie d'une personne à l'autre, la santé du sol varie selon le type de sol. Certains sols ont une mauvaise qualité *inhérente* (naturelle) et ne se prêtent pas à la culture.

Tout comme il n'existe pas de mesure unique de la santé humaine, il n'y a pas de mesure unique de la qualité du sol. Malgré l'impossibilité d'une mesure directe, on peut quand même faire des inférences ou des estimations, en mesurant certaines propriétés du sol (comme le pH ou la teneur en matière organique) et en observant certaines conditions (comme la fertilité, la structure et *l'érodabilité*).

Les pédologues ont récemment reconnu la nécessité de mettre au point une méthode fiable et systématique pour évaluer la qualité des sols. Une possibilité prometteuse réside dans l'établissement d'un *indice de la qualité des sols* — autrement dit un relevé de l'état de santé du sol qui permet de suivre l'évolution de cet état au fil du temps et de prévoir les effets des pratiques agricoles. L'indice reposerait sur la mesure de certaines propriétés, fonctions et conditions représentant des *indicateurs* utiles de la qualité du sol (voir l'encadré). Des recherches se déroulent actuellement dans plusieurs pays pour établir des indicateurs de qualité adéquats et élaborer des méthodes de mesure efficaces et fiables.

Éléments de la qualité du sol

Les trois principales fonctions du sol sont d'offrir un milieu pour la croissance des végétaux, de régulariser et de répartir l'écoulement de l'eau dans l'environnement, et de jouer un rôle de *tampon naturel*. Les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol se combinent pour rendre ce dernier apte à remplir ces fonctions.

Croissance des végétaux

Un sol de bonne qualité est à la fois cultivable et fertile. Il donne des récoltes de bonne qualité pour les raisons suivantes :

- il offre un milieu approprié à la germination des graines et à la pousse des racines (dont l'absence de conditions chimiques néfastes, comme l'acidité ou la salinité, qui nuisent à la croissance des végétaux)
- il fournit aux végétaux un apport équilibré d'éléments nutritifs
- il absorbe l'humidité, l'emmagasine et la libère pour les végétaux
- il abrite une communauté de microorganismes qui recyclent les éléments nutritifs en les *décomposant* et qui aident les végétaux à résister aux maladies.

Régularisation et répartition de l'eau

Divers sorts attendent l'eau qui entre dans le sol sous forme de pluie ou de neige fondante. Elle peut imprégner le sol, pour y être emmagasinée ou absorbée par les végétaux. Elle peut, par percolation, descendre dans le sol et se rendre jusqu'aux nappes *d'eau souterraine*. Si elle ne réussit pas à pénétrer le sol, elle peut s'écouler en surface sous forme de *ruissellement*.

Selon l'abondance des précipitations qu'il reçoit, un sol de bonne qualité stocke suffisamment d'eau pour favoriser une croissance optimale des récoltes. Il ne permet qu'à une quantité limitée d'eau de s'écouler en surface en transportant les *sédiments* du sol, ou de percoler sous la rhizosphère jusqu'aux eaux souterraines.

Tampon naturel

Un sol de bonne qualité peut absorber et retenir les éléments nutritifs puis les libérer pour répondre aux besoins des plantes. Dans une certaine mesure, il peut également décomposer les composés nocifs en substances non

toxiques pour la flore et la faune et non polluantes pour les *eaux superficielles* et souterraines. Cependant, le sol a une capacité limitée d'exercer cette fonction et on ne doit pas s'attendre à ce qu'il puisse réparer les dégâts de la *contamination* chimique imputable à l'activité humaine.

Changement de la qualité du sol

La qualité inhérente ou naturelle d'un sol est déterminée par les matériaux géologiques et les processus (notamment chimiques et physiques) de formation du sol qui se combinent pour le produire. Les caractéristiques d'un sol naturel peuvent être modifiées par l'activité humaine, y compris les pratiques *d'utilisation des terres* et d'agriculture. Divers processus de dégradation peuvent affecter la *qualité inhérente du sol*, dont l'érosion, la perte de matière organique, le compactage et la désertification. Par ailleurs, on peut maintenir ou même améliorer la qualité du sol en y ajoutant régulièrement des matières organiques, en recourant à des *méthodes culturales de conservation*, en pratiquant la rotation des cultures, en cultivant des légumineuses, etc.

La santé du sol selon les producteurs

Pour décrire la santé du sol, les producteurs emploient généralement des termes subjectifs condernant l'aspect, la consistance et l'odeur du sol. Aux États-Unis, un sondage réalisé auprès des producteurs a révélé que, pour eux, les sols en santé :

- sont plus profonds et plus foncés
- sont plus faciles à labourer
- se travaillent plus facilement au printemps
- absorbent et emmagasinent davantage d'eau
- se drainent plus rapidement
- décomposent les résidus des récoltes plus rapidement à l'automne
- sont plus riches en matière organique et s'érodent moins
- abritent un plus grand nombre et une plus grande diversité de vers de terre
- ont une odeur douce d'air frais.

Les répondants ont aussi observé que sur les sols en santé :

- les frais de carburant sont beaucoup moins élevés
- la machinerie s'use moins
- le tracteur peut tirer plus facilement
- moins d'engrais est nécessaire
- les cultures donnent de meilleurs rendements
- les mauvaises herbes sont plus diversifiées
- les insectes et les maladies sont moins problématiques
- les cultures fourragères sont de meilleure qualité et les animaux qui consomment ce fourrage coûtent moins cher en frais de vétérinaire.

(L.J. Gregorich)

Effets de l'utilisation des terres et des pratiques de gestion

Par «utilisation des terres agricoles», on désigne le type d'activités agricoles se déroulant sur une superficie donnée, par exemple l'exploitation de pâturages ou encore la culture de *plantes fourragères*, de céréales, de plantes oléagineuses, de petits fruits ou de légumes. On doit également déterminer s'il s'agit de cultures pratiquées avec ou sans irrigation. En général, plus une utilisation perturbe l'écologie naturelle des terres, plus elle a d'effets sur la qualité du sol.

Les pratiques de gestion sont les méthodes employées par un agriculteur pour traiter le sol, s'adonner à une culture ou élever du bétail. Sur les pâturages, ces pratiques comprennent la capacité de support, le pâturage en rotation, la lutte contre les mauvaises herbes et la protection de la végétation riveraine. Sur les *terres cultivées*, elles englobent la sélection et la rotation culturales, les méthodes de travail du sol, *la gestion des résidus*, la gestion de la circulation, la fertilisation et les autres types d'*amendement*, la lutte contre les organismes nuisibles et la gestion des eaux. Les cultures qui donnent aux sols un couvert dense et continu offrent une meilleure protection contre l'érosion que les systèmes de culture en rang ou ceux qui font fortement appel à la jachère cultivée. Pour la répression des mauvaises herbes ou la préparation des *lits de semences*, un régime de travail minimal du sol modifie moins la structure du sol et préserve davantage les *résidus des cultures* que les méthodes culturales plus intensives. Les systèmes qui permettent de retourner à la terre les éléments fertilisants au rythme de leur absorption par les cultures contribuent à maintenir l'état d'*ameublissement* et la couverture

du sol, et ainsi à le protéger contre l'érosion. On risque moins de contaminer les eaux superficielles en employant moins de pesticides sur les *sols érodables*, ou en combinant leur emploi avec de bonnes mesures antiérosives. Sur les sols hautement perméables, les systèmes nécessitant moins de pesticides atténuent le risque de contamination des eaux souterraines.

Processus qui réduisent la qualité du sol

L'érosion par le vent et l'eau, la perte de matière organique, la détérioration de la structure du sol, la salinisation et la contamination chimique — tous des processus qui affectent la qualité du sol (fig. 1-1) — sont en grande partie accélérés par l'utilisation inappropriée des terres et par de mauvaises pratiques de gestion. Ces processus rendent le sol moins apte à soutenir des récoltes et à contribuer à maintenir un environnement sain.

Érosion

L'érosion est un processus qui emporte et redistribue le sol. Bien qu'une certaine érosion se produise graduellement, le phénomène est surtout imputable à des événements météorologiques extrêmes, comme une tempête de vent ou une forte pluie.

Qu'elle soit éolienne ou hydrique, l'érosion emporte la couche arable de terre, la plus propice au soutien de la vie. La disparition de la totalité ou d'une partie de cette couche superficielle diminue le potentiel agricole d'un sol en réduisant sa fertilité, sa capacité d'accepter et d'emmagasiner l'eau et l'air. Les matériaux enlevés peuvent se redéposer un peu plus loin sous le vent ou en aval, sans grandes conséquences apparentes pour l'environnement. Cependant, dans certains endroits, l'érosion transporte les matériaux jusqu'aux cours d'eau et aux lacs — et même jusqu'aux océans —, dont les eaux se dégradent considérablement.

Chaque nouvelle perte de couche arable aggrave les effets de l'érosion, et le sol devient de moins en moins capable de produire des récoltes, de régulariser et de répartir l'écoulement de l'eau dans l'environnement. À mesure que décline la *fertilité du sol*, on remplace souvent les éléments nutritifs disparus en appliquant des engrais, ce qui accroît le risque d'une surcharge d'éléments nutritifs dans le ruissellement résultant des épisodes d'érosion subséquents.

Pour protéger le sol contre l'érosion, on doit habituellement le garder couvert de récoltes ou de résidus de récoltes. Des méthodes comme le travail de conservation, la gestion des résidus, la culture d'enfouissement, *la culture continue* et la *culture de couverture hivernale* contribuent à préserver la *couverture du sol*.

Indicateurs de qualité du sol

Un indicateur est un facteur qui indique ou aide à définir l'état d'un système plus vaste. Par exemple, votre tension artérielle et votre rythme cardiaque sont des indicateurs de votre santé générale. Dans le cas du sol, les indicateurs de qualité sont les propriétés, les fonctions ou les conditions qui illustrent la santé globale du sol. Ces facteurs peuvent être directement liés au sol, ou encore être liés à un élément qui est affecté par le sol, comme les récoltes et l'eau. Voici quelques facteurs qui peuvent constituer des indicateurs utiles de qualité du sol :

- Sol
  - Propriétés chimiques
    - Acidité (pH)
    - Capacité d'absorber des composés chimiques (capacité d'échange cationique)
    - Teneur en sel
  - Propriétés physiques
    - Taille et agencement des macropores
    - Taille et stabilité des agrégats
    - Humidité
  - Propriétés biologiques
    - Quantité et type de matières organiques
    - Abondance, type et fonctions des microbes et des invertébrés du sol
    - Activité respiratoire intrinsèque
    - Activité enzymatique
- Cultures
  - Rendement
  - Vigueur des végétaux
  - Patron de croissance racinaire
- Eau
  - Qualité des eaux de surface
  - Qualité des eaux souterraines

(L.J. Gregorich)

Perte de matière organique

La réduction de la teneur en matières organiques du sol est habituellement imputable à l'érosion de la couche arable. Un autre phénomène en cause est l'*oxydation microbienne*, causée par une fonction métabolique normale des micro-organismes, qui se nourrissent de la matière organique du sol. Les pratiques de gestion qui ajoutent peu de matières organiques au sol ou qui accélèrent les vitesses de décomposition des matières organiques (comme la mise en jachère et le travail excessif du sol) contribuent également à dépouiller le sol de ses substances organiques.

Comme les matières organiques sont riches en azote, en phosphore et en d'autres éléments nutritifs, leur perte réduit la fertilité du sol et son potentiel de culture. Les matières organiques contiennent davantage d'eau par unité de poids que les matières minérales, et elles sont nécessaires à une bonne agrégation du sol. Leur perte rend également le sol moins apte à absorber l'eau, à l'emmagasiner et à la libérer pour la croissance des végétaux.

Changements dans la structure du sol

Le changement de la structure du sol se répercute de bien des façons sur sa qualité. L'*espace porifère* du sol joue un rôle important en servant de voie d'entrée à l'eau dans le sol, en stockant l'eau et l'air au profit des végétaux et en acheminant l'eau qui ressort du sol.

Les sols de grande qualité présentent de nombreux pores à la taille et la forme diversifiées, et à la continuité variable. Les pratiques agricoles qui accroissent le taux d'érosion, décomposent les *agrégats* du sol ou en réduisent l'espace porifère (compactage) sont les causes les plus communes de la modification de la structure du sol. La détérioration de la structure du sol réduit sa capacité de soutenir des récoltes et, par conséquent, de régulariser et de répartir l'écoulement de l'eau dans l'environnement.

Salinisation

La salinité (excès de sels) du sol diminue son potentiel de culture en limitant la quantité d'eau que les végétaux peuvent prélever du sol. La salinisation engendre chez les cultures une réaction fort semblable à celle suscitée par le stress de

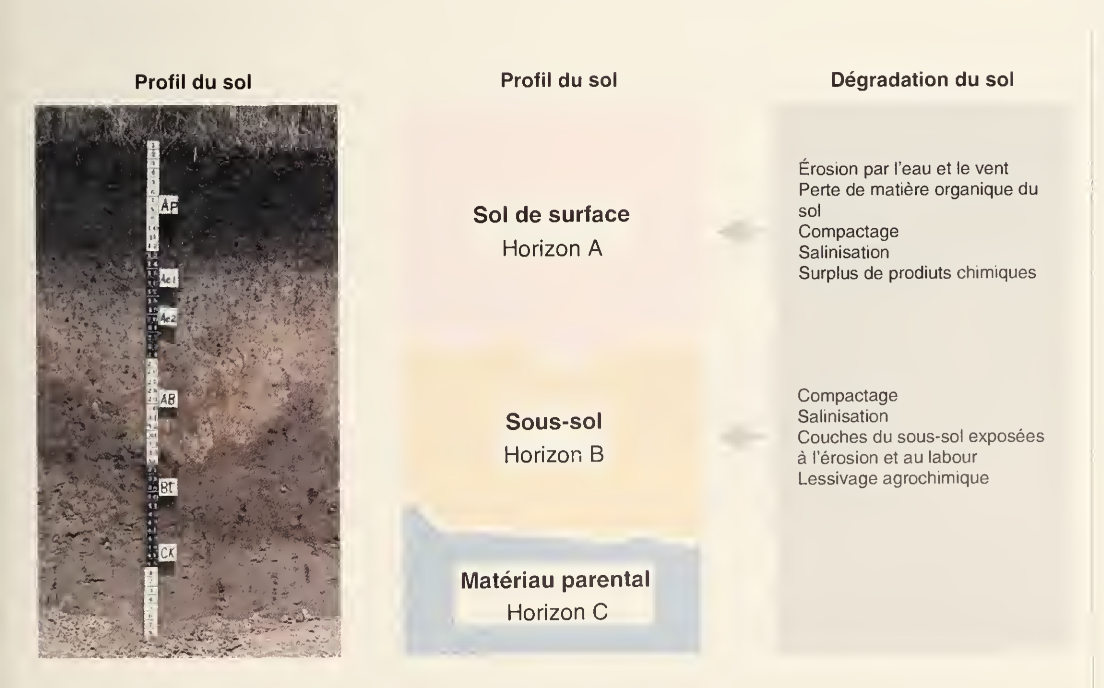


Figure 1-1 **Les profils de sols permettent de voir les problèmes de dégradation.**

Pour faire perdre sa productivité à la couche arable, il n'est pas nécessaire de l'enlever au bulldozer, de la recouvrir d'asphalte ou de la laisser transporter au loin par l'eau. Si elle est mal utilisée, ou polluée, elle peut perdre beaucoup de propriétés naturelles du sol qui contribuent directement à la croissance des végétaux ou à la capacité du sol de réagir aux mesures de gestion agricole.

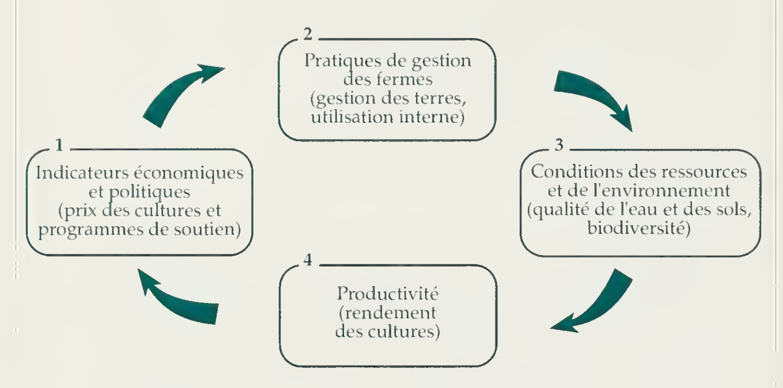
R. Neil Sampson
Farmland or Wasteland: A Time to Choose

Projet des indicateurs agro-environnementaux

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) a commencé en 1993 à élaborer des indicateurs agro-environnementaux pour :

- mieux comprendre la nature, l'étendue et l'emplacement des risques et des bénéfices environnementaux posés par l'agriculture primaire
- suivre les progrès réalisés par le secteur agro-alimentaire en vue d'une agriculture durable pour l'environnement
- faciliter la conception et le ciblage des stratégies, des politiques et des programmes environnementaux..

Ce projet s'insère dans un cadre illustrant la relation cyclique qui unit les pratiques agricoles, les conditions environnementales, la productivité et les politiques.



Indendance-État-Cadre de productivité

Un indicateur agro-environnemental est une mesure du change ment survenu soit dans l'état des ressources naturelles utilisées ou affectées par l'agriculture, soit dans les activités agricoles influençant l'état de ces ressources.

Six indicateurs de performance globale et leurs sous-composantes ont été identifiés. Chaque indicateur est relié à un critère environnemental et à un objectif de performance correspondant. Les résultats d'un de ces indicateurs, le risque de dégradation du sol, sont présentés dans ce rapport (*voir* chapitres 5, 7 et 8, risques d'érosion, de salinité, salinisation du sol et changement de matière dans le sol.

D'autres indicateurs ont été identifiés en ce qui touche la qualité de l'eau, la biodiversité de l'agrosystème, les variations climatiques, la gestion des ressources à la ferme et l'efficacité de la production. Tous ces indicateurs sont reliés, directement ou indirectement, à la qualité du sol et à sa gestion.

(Scott Smith, AAC, Whitehorse, Y.T. et Terence McRae, AAC, Ottawa, Ont.)

sécheresse — malgré la présence d'eau dans le sol, la plante réagit comme si le sol était sec ou presque sec.

La salinité du sol dépend principalement de facteurs géologiques et climatiques. Elle peut toutefois être affectée par toute modification du *cycle hydrologique* (de l'eau), comme le drainage ou l'inondation des terres basses, le changement du modelé de la surface du sol ou encore l'augmentation ou la réduction de la croissance végétale.

Contamination agrochimique

Les terres agricoles peuvent être contaminées de multiples façons, notamment par le dépôt atmosphérique de déchets industriels et l'application directe de produits chimiques agricoles, de déchets municipaux ou d'eau d'irrigation contenant des sels ou des produits chimiques. Ici, nous ne nous intéressons qu'à la contamination du sol résultant d'un apport de *produits agrochimiques* (produits chimiques à usage agricole), que l'on utilise dans la production de récoltes pour accroître la teneur en éléments nutritifs du sol (engrais) et contrer les *organismes nuisibles* (pesticides). Les produits chimiques non utilisés peuvent demeurer dans le sol et y constituer une source de *contamination*, ou encore ils peuvent aller *contaminer les eaux* de surface (par *ruissellement*) ou les eaux souterraines (par lessivage). Les pratiques de gestion qui donnent lieu à un apport d'engrais (particulièrement d'azote) excédentaire en regard des besoins de la récolte, ou encore à un épandage abondant de certains pesticides sur des sols hautement perméables, sont les plus susceptibles de vaincre le pouvoir tampon naturel du sol.

Santé de l'environnement

La qualité des sols est la principale composante de la santé de l'environnement. Les constatations présentées dans les chapitres qui suivent au sujet de la qualité des sols viennent grandement enrichir le fonds d'information nécessaire pour évaluer les effets environnementaux de l'agriculture et pour surveiller le progrès de l'agriculture durable au Canada.



Le développement et les effets de l'agriculture au Canada

D.F. Acton

Points saillants

- Seulement 5 % du vaste territoire canadien se prête à l'agriculture, et une bonne partie de cette superficie est menacée par l'urbanisation, par la dégradation des sols ou par ces deux phénomènes.
- Les nombreux types de systèmes agricoles qu'on observe dans l'ensemble du pays s'expliquent par la variation des conditions écologiques (écozones), des marchés ainsi que des politiques de colonisation et de mise en valeur des terres.
- La dégradation des sols agricoles canadiens est principalement imputable à la disparition des petites fermes mixtes au profit d'exploitations plus importantes et hautement mécanisées axées sur la monoculture.
- Grâce à la douceur du climat en Colombie-Britannique, l'agriculture est florissante dans le sud de la province; les sols humides du Lower Mainland (partie sud-ouest) font l'objet d'une agriculture intensive qui peut réduire la fertilité du sol, compacter ce dernier et causer une contamination agrochimique des eaux souterraines.
- En raison de la fertilité naturellement élevée des sols des provinces des Prairies, l'agriculture y est très productive depuis plus de 100 ans; l'érosion éolienne et hydrique, la salinisation et une acidification locale menacent toutefois la qualité des sols.
- Le centre du Canada est une des principales régions agricoles du pays; des problèmes de compactage, d'acidification et d'érosion peuvent dégrader les sols; l'apport de produits agrochimiques menace la qualité des eaux nécessaires aux systèmes agricoles.
- Dans les provinces de l'Atlantique, plus de 200 années d'agriculture ont gravement dégradé (perte de matière organique, baisse de fertilité, décomposition de la structure, compactage et érosion) les sols de certaines régions où la culture en rang est intensivement pratiquée.

Celui qui fait pousser les arbres, le jardinier, l'homme né pour l'agriculture, dont les mains plongent dans la terre et font germer, pour lui le sol est un élixir divin. Il entre dans la mort chaque année et en ressort épanoui.

Wendell Berry, poème : "The Man Born to Farming" *Farming: A Hand Book*

Introduction

Le Canada est le deuxième pays au monde pour la superficie, mais à peine 5 % (environ 46 millions d'hectares) de son territoire est cultivable. La moitié seulement de cette surface est considérée comme terres agricoles de choix.

Depuis une vingtaine d'années, la superficie totale des *terres agricoles* (ensemble des terrains servant à la culture, au pacage et au pâturage, *jachères*, bâtiments et enclos de ferme, boisés, marécages et marais, etc.) est

Tableau 2-1 Utilisation des terres agricoles au Canada, 1971-1991

Utilisation des terres (hectares)	1971	1976	1981	1986	1991
Total des terres agricoles	68.7	68.4	65.9	67.8	67.8
Terres cultivées	27.8	28.3	31.0	33.2	33.5
Jachères	10.8	10.9	9.7	8.5	7.9
Pâturages améliorés[a]	4.1	4.1	4.4	3.6	4.1
Terres cultivées améliorées	42.7	43.3	45.1	45.3	45.5
Rapport (pourcentage) entre les terres cultivées améliorées et le total des terres agricoles	62.2	63.3	68.4	66.8	67.1

[a] Superficie améliorée par ensemencement, drainage, irrigation, fertilisation, débroussaillage ou désherbement, à l'exclusion des surfaces récoltées pour le foin, l'ensilage ou la semence.

(D'après *Aperçu de l'agriculture canadienne selon les données du recensement : 1971-1991*, ministre de l'Industrie, des Sciences et de la Technologie, 1991.)

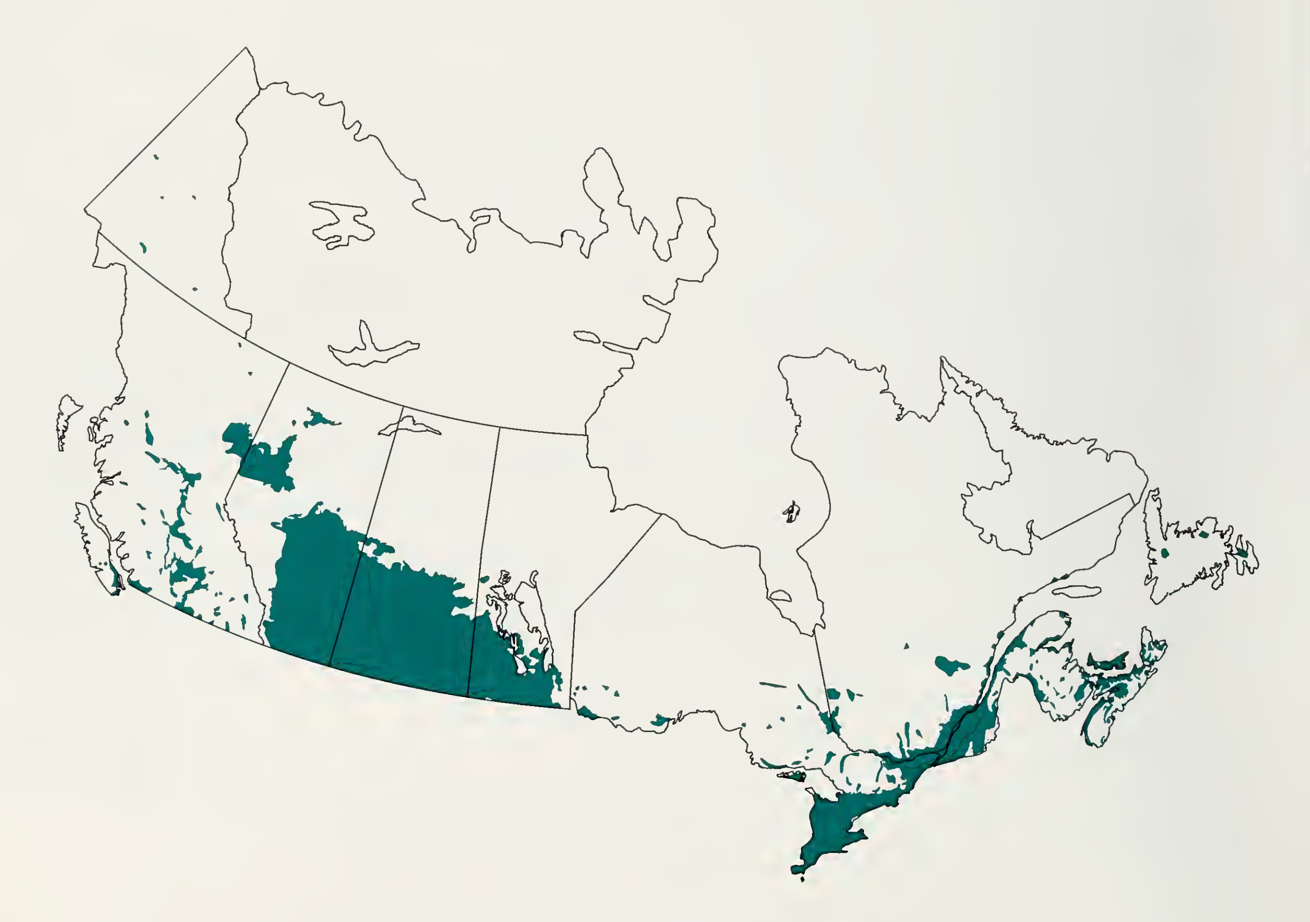


Figure 2-1 Régions agricoles du Canada.

demeurée relativement constante, et la superficie des *terres cultivées améliorées* (total des terres cultivées, des jachères et des pâturages améliorés) a plafonné (tableau 2-1). Cette période a donné lieu à une modification de la composition des terres cultivées améliorées, soit une hausse constante de la superficie des *terres cultivées* (total des terres où l'on fait pousser des grandes cultures, des fruits, des légumes, des produits de pépinière et du gazon) et un déclin soutenu de la superficie mise en jachère (terre laissée en friche durant au moins un an). Ces tendances laissent croire que le développement des terres agricoles au Canada approche sa limite supérieure, que la superficie des terres agricoles pouvant servir aux cultures a peut-être plafonné et que tout nouvel accroissement de la superficie des terres cultivées doit d'abord résulter d'un changement dans l'utilisation des terres (par exemple en réduisant davantage la superficie des jachères). Par ailleurs, la menace d'une conversion à des fins urbaines et autres plane constamment sur le territoire agricole.

Le territoire agricole canadien, formé d'environ 293 000 exploitations, s'étend d'un océan à l'autre dans le quart méridional du pays (fig. 2-1). Divers facteurs (politiques de colonisation rurale et de mise en valeur des terres, marchés, conditions écologiques, etc.) ont concouru à l'apparition de systèmes agricoles hautement diversifiés.

Les conditions écologiques des terres du Canada ont servi à définir des *écozones* — des régions au climat, à la végétation, à la géologie et aux sols distincts (voir les cartes aux deuxième et quatrième de couverture). Dans ce chapitre, les écozones servent de cadres pour décrire

- les conditions écologiques (géologie et sol, climat, végétation)
- l'histoire du développement agricole
- la nature générale de l'agriculture d'aujourd'hui
- l'effet du développement et des pratiques agricoles actuelles sur les sols et l'environnement dans son ensemble.

Agriculture dite écologique

Selon la majorité des partisans de l'agriculture de remplacement, le niveau de vie actuel du monde occidental est incompatible avec une agriculture durable. Mais en quoi consiste au juste l'agriculture de remplacement?

Bien avant que les praticiens de la recherche agricole traditionnelle aient reconnu que les pratiques agricoles classiques causaient souvent une dégradation des sols, un petit groupe de penseurs et de chercheurs voyaient les liens entre la santé des sols, la salubrité des aliments et la santé humaine. On appelle maintenant agriculture de remplacement la nouvelle école de pensée qu'ils ont engendrée, et qui s'écarte radicalement des attitudes et pratiques courantes du secteur agricole.

L'agriculture classique, dont le moteur est l'économie, a comme credo secret la croissance continue — utiliser davantage de ressources pour produire des récoltes plus abondantes de meilleure qualité, et ainsi accroître les profits. Par contraste, l'agriculture de remplacement, fondée sur l'écologie, a comme credo la notion d'équilibre — utiliser judicieusement les ressources renouvelables pour produire des rendements réalistes d'une qualité acceptable, pour faire juste assez d'argent.

Dans l'agriculture de remplacement, les gens sont un élément d'un vaste système écologique. Leurs besoins en nourriture, en fibres et en combustibles doivent s'équilibrer avec la capacité de produire ces biens sans épuiser ni dégrader la Terre. L'agriculture de remplacement vise donc des objectifs simples : produire suffisamment de nourriture et de fibres pour l'ensemble de la population mondiale et faire de l'agriculture un gagne-pain raisonnable, tout en protégeant et en conservant les précieuses ressources de notre planète.

Autrefois jugé marginal, ce mode de pensée commence à gagner les grands organismes de recherche agricole des pays industrialisés. Bien qu'on puisse contester les fondements philosophiques de l'agriculture de remplacement, on ne peut nier que l'activité humaine donne les meilleurs résultats quand elle se déroule selon les règles de la nature.

(J.F. Dormaar, AAC, Lethbridge)

Colombie-Britannique

La Colombie-Britannique est une vaste province, mais les terres cultivées améliorées n'y couvrent qu'environ 900 000 hectares. Hormis la région de Rivière-de-la-Paix (examinée plus loin avec les provinces des Prairies), les plus importantes terres agricoles sont surtout l'écozone maritime du Pacifique et la Cordillère montagnarde. Souvent, le sol n'y est pas particulièrement propice à l'agriculture, mais la douceur du climat

permet à ces terres de figurer parmi les plus productives au pays.

L'écozone maritime du Pacifique, au climat côtier doux, englobe la marge terrestre qui longe toute la côte du Pacifique de la Colombie-Britannique; de nombreux fjords et vallées glaciaires viennent échancrer les terres montagneuses, bordées de plaines côtières le long de l'océan. Les sols agricoles les plus productifs se trouvent dans les basses terres de la vallée du Fraser et l'extrémité sud-est de l'île de Vancouver. Dans le Lower Mainland, les sols tourbeux (*gleysols* et *sols organiques*) sont communs dans les *plaines alluviales* (plaines inondables) et les terres humides couvertes de tourbe; on observe des sols de couleur brun rougeâtre et légèrement à modérément *acides* (brunisols) dans l'épandage fluvio-glaciaire sableux à loameux et le till glaciaire des collines avoisinantes. Les *brunisols* prédominent également dans le *colluvion* (matériaux accumulés au bas des pentes ou des falaises) et les dépôts glaciaires des basses terres de Nanaimo dans l'île de Vancouver.

L'écozone de la Cordillère montagnarde couvre la plus grande partie du sud de la Colombie-Britannique, une région au climat doux et relativement sec. Des montagnes escarpées bordent plusieurs grandes plaines intérieures composées principalement de dépôts morainiques et, dans une moindre mesure, *fluviaux* (cours d'eau) et *lacustres* (lacs). Les luvisols et les brunisols prédominent dans les plaines, sauf dans les fonds de vallée des plaines du sud, où dominent les sols de couleur sombre (*chernozémiques*). L'agriculture est surtout concentrée dans les vallées : on améliore des terrains pour les transformer en pâturages ou en champs céréaliers; on fait pousser des cultures en rang et on cultive le foin dans les secteurs où il y a de l'eau d'irrigation; les vallées du sud abritent de nombreux vergers et vignobles.

Tout au long du XXe siècle, la superficie totale des terres agricoles et des terres cultivées a régulièrement augmenté dans de nombreuses régions de la Colombie-Britannique. En même temps, l'expansion urbaine qui s'est produite dans le Lower Mainland, plus précisément dans les basses terres de Nanaimo et les vallées méridionales de l'écozone de la Cordillère montagnarde, a fait disparaître de nombreuses terres agricoles de choix. La majorité des exploitations agricoles de la province sont de petites fermes intensivement exploitées, qui peuvent connaître les problèmes suivants de dégradation du sol :

- *compactage du sol* et accumulation d'eau en hiver et au début du printemps, causés par le niveau élevé des *nappes phréatiques* (spécialement dans les sols des basses terres alluviales du Lower Mainland, où l'on trouve des exploitations horticoles, des vergers et de nombreuses fermes laitières)
- érosion des sols formés de till glaciaire recouvert de limon (spécialement lorsqu'on fait pousser des cultures en rang et des petits fruits sur des terres inclinées dans des régions où la plus grande partie des précipitations annuelles survient hors de la saison de croissance)
- perte de productivité causée par la détérioration des sols (particulièrement les sols organiques ou tourbeux, qui se décomposent graduellement et s'affaissent)
- contamination agrochimique des eaux superficielles et souterraines (spécialement dans les régions, comme le Lower Mainland, où les cultures intensives engendrent beaucoup de *fertilisation*, d'abondantes applications de fumier provenant d'exploitations d'élevage à haute densité, et une irrigation).

Provinces des Prairies

Dans les provinces des Prairies, l'activité agricole se déroule surtout dans l'écozone des Prairies. Celle-ci est principalement composée de surfaces en herbe semi-arides et de tremblaies-parcs subhumides, mais on trouve également de vastes territoires agricoles dans le sud des tremblaies fraîches et subhumides de l'écozone des Plaines boréales, qui s'étend depuis la région de la Rivière-de-la-Paix en Colombie-Britannique jusqu'au centre du Manitoba.

La surface du paysage presque plat à vallonné des écozones des Prairies et des Plaines boréales est surtout formée de dépôts *morainiques* (glaciaires) *moutonnés* (mamelonnés) et de dépôts fluviaux et

lacustres doucement ondulés. La fertilité naturelle relativement élevée et l'excellente capacité de rétention de l'humidité de nombreux sols (sols chernozémiques) de l'écozone des Prairies en font un secteur hautement productif pour les cultures. La topographie relativement plate est propice à une agriculture hautement mécanisée, tandis que la saison de croissance relativement longue autorise la culture de blés durs de printemps (y compris le blé durum) et d'autres céréales, de légumineuses à grains et d'oléagineux. Les secteurs plus accidentés et sablonneux conviennent à l'élevage des bovins. Les sols luvisoliques de l'écozone des Plaines boréales sont plus acides et moins fertiles que ceux de l'écozone des Prairies. Souvent, une saison de croissance plus brève restreint les cultures aux céréales à cycle court, par exemple l'orge, les oléagineux frais comme le canola, ainsi que les cultures fourragères.

La colonisation des écozones des Prairies et des Plaines boréales s'est majoritairement produite entre 1900 et 1913, quoiqu'une certaine activité agricole ait eu lieu le long des cours d'eau un siècle auparavant. Généra-lement, les terres ont été ouvertes à la colonisation en raison de leur empla- cement plutôt que leur potentiel agricole, et les colons ont introduit des méthodes agricoles mieux adaptées aux conditions humides de l'est du Canada et de l'Europe.



Verger en Colombie-Britannique.



Champ de céréales dans les Prairies.



Champ de maïs en Ontario.



Champ de pommes de terre dans les Maritimes.

Les agriculteurs sont la source des éléments nutritifs dont nous avons quotidiennement besoin pour demeurer en vie, et encore plus pour avoir une santé florissante. Le travail qu'ils effectuent sur leurs terres influence la santé et le bien-être de toute la population du globe.

John Haberen
Rodale Institute

Quand les herbes indigènes des prairies sont labourées pour la première fois, elles révèlent un sol riche en matière organique, fertile et assez résistant à l'érosion éolienne. Au début du XXe siècle, grâce à la bonne fertilité des sols, à la relative humidité du climat et à la mise au point de variétés de blé adaptées, on a obtenu de bonnes récoltes. Dans les années 1920 toutefois, l'adoption de méthodes agricoles inappropriées et la sécheresse ont causé de graves problèmes d'*érosion* et une faible productivité; un certain nombre de fermes ont été abandonnées dans les régions les plus sèches. Les sécheresses, une érosion catastrophique du sol et la dépression économique des années 1930 ont causé un vaste exode rural, même dans la zone de *sols brun foncé* de l'Alberta et de la Saskatchewan. Malgré l'élaboration de méthodes appropriées pour la culture sèche dans les années 1940 et 1950, la santé des sols a continué de baisser, particulièrement dans les régions où une bonne partie du territoire était laissée en jachère.

Depuis les années 1950, le nombre de fermes dans les Prairies a diminué. En Saskatchewan par exemple, on en comptait 112 000 en 1951, contre 60 000 aujourd'hui. Durant cette période, l'agriculture dans les Prairies s'est caractérisée par une augmentation des cultures, l'emploi de meilleures variétés, l'accroissement des rendements, une augmentation des *intrants chimiques* (engrais et pesticides) ainsi qu'une expansion et une plus grande mécanisation des exploitations. Parallèlement, les problèmes suivants de dégradation du sol ont continué de sévir :

- érosion éolienne modérée à grave, touchant près de 20 % des terres agricoles améliorées (plus fréquente dans les zones sèches et venteuses mises en jachère, mais aussi présente dans les régions plus humides où l'on cultive intensivement des récoltes comme la pomme de terre et le canola)
- érosion hydrique, particulièrement dans les terrains accidentés et inclinés des zones humides au *sol noir et gris*
- salinité du sol (plus fréquente dans la portion semi-aride de l'écozone des Prairies et présente dans cette région avant sa mise en valeur agricole; l'agriculture a accru la superficie des terres salinisées)
- acidité du sol (caractéristique naturelle des sols formés en milieu forestier mais, ailleurs, intensifiée par les précipitations acides et l'application continue d'engrais azotés).

Environ 80 % des herbicides employés au Canada le sont dans les exploitations agricoles de l'écozone des Prairies. L'application à long terme d'herbicides dans les sols des Prairies ne semble pas avoir d'effets négatifs importants, mais on doit poursuivre la recherche et la surveillance.

Centre du Canada

En Ontario et au Québec, l'agriculture est surtout concentrée dans les basses terres du Saint-Laurent et le triangle du sud ontarien délimité par les Grands Lacs. Cette région est majoritairement comprise dans l'écozone des Plaines à forêts mixtes, au climat relativement humide et tempéré à chaud. Le terrain se caractérise par des paysages plats à vallonnés comportant une diversité de dépôts morainiques, *marins* (océaniques) et lacustres, autrefois recouverts d'une forêt de feuillus composée d'essences comme l'érable et le hêtre. Les sols des hautes terres sont lessivés et relativement acides (podzols, luvisols et brunisols), mais les sols de surface, dans le sud, sont granulaires et assez fertiles. Une bonne partie du domaine agricole est plat et argileux; on fait du drainage souterrain pour réduire l'humidité naturelle des sols (gleysols).

Environ 40 % des revenus agricoles au Canada proviennent de cette région. Des récoltes de grande valeur sont cultivées sur la plupart des terres, dont le maïs, les fèves et diverses cultures spéciales. Les paysages plus vallonnés accueillent une grande industrie laitière.

Le nord de l'Ontario et du Québec, dans l'écozone du Bouclier boréal, abrite des enclaves agricoles. La fraîcheur du climat y restreint généralement l'agriculture à l'élevage du bétail. On observe une certaine activité agricole dans les sols mal drainés (gleysols et sols organiques) formés dans les ceintures d'argiles lacustres des régions de l'Abitibi, du lac Saint-Jean et du lac des Bois. L'agriculture est aussi présente sur

de bonnes portions des sols sableux et acides (podzols) caractérisant les vallées et les plaines doucement inclinées qui s'étendent depuis les hautes terres Laurentiennes du Québec jusqu'à la région de Thunder Bay-Quetico, dans l'ouest de l'Ontario.

Les écozones des Plaines à forêts mixtes et du Bouclier boréal ont connu un rapide développement agricole durant la colonisation de la région par les Européens, vers la fin du XVIIIe siècle et le milieu du XIXe siècle. Efficaces et de petite superficie, les fermes produisaient du bétail, des produits laitiers et diverses récoltes. Le début des années 1950 a déclenché un mouvement d'agrandissement et de spécialisation des fermes. La superficie des terres agricoles améliorées, qui était demeurée constante à environ 5,3 millions d'hectares entre 1921 et 1951, n'était plus que de 4,3 millions d'hectares en 1976. La diminution la plus marquée s'est produite au Québec, dont le domaine agricole amélioré est passé durant cette période de 3,6 à 2,2 millions d'hectares.

Les agriculteurs des écozones des Plaines à *forêts mixtes* et du Bouclier boréal, dans le centre du Canada, ont toujours été aux prises avec un problème de dégradation de la santé des sols. Le déboisement et l'exploitation agricole du territoire, au XIXe siècle, ont accéléré l'érosion et épuisé les sols. Le phénomène d'érosion a pu être freiné au début du XXe siècle par l'émergence de petites exploitations mixtes pratiquant la rotation culturale sur sol enherbé et appliquant de judicieuses pratiques de gestion du bétail. Cependant, l'abandon d'une rotation de petites céréales et de cultures fourragères au profit de l'exploitation de monocultures en rang se traduit aujourd'hui par une aggravation de l'érosion des sols, en raison d'une diminution de leur teneur en matières organiques et d'une altération de leur structure. La qualité de l'eau a aussi baissé. D'autres symptômes indiquent que les sols se dégradent dans ces écozones :

- compactage des sols dans les basses terres du lac Érié et du Saint-Laurent, particulièrement dans les champs où on cultive du maïs chaque année (les sols argileux mal drainés sont le plus gravement touchés)
- acidification des sols dans l'écozone des Plaines à forêts mixtes, causée par l'humidité du climat, aux taux de fertilisation élevés et aux précipitations acides
- pollution des Grands Lacs par le phosphore issu des engrais et des déjections du bétail
- contamination des eaux souterraines par le *nitrate* sous les sols poreux et sableux, comme ceux servant à la culture du tabac et de la pomme de terre.

Provinces de l'Atlantique

Le territoire agricole du Canada atlantique se limite principalement à l'écozone maritime de l'Atlantique et, jusqu'à un certain point, à l'écozone du Bouclier boréal (Terre-Neuve). C'est une région au climat à la fois humide et tempéré où l'on trouve de nombreux paysages montagneux, y compris des prolongements des Appalaches. Les sols se sont formés sur des dépôts morainiques et, dans une proportion beaucoup moindre, des dépôts marins et fluviaux. La végétation indigène était constituée d'une forêt mixte de conifères et de décidus, avec des essences telles que l'érable et l'épinette. Les sols, fortement lessivés et acides (podzols), ont généralement une texture loameuse. Souvent, des *sous-sols denses* nuisent au drainage. L'agriculture est surtout pratiquée sur les basses terres côtières vallonnées, mais également, dans certaines provinces, sur les terrasses intérieures et les terres organiques.

Le développement agricole de ces écozones remonte au début du XVIIe siècle, sous forme d'une agriculture de subsistance pratiquée par des sociétés dépendant principalement de la pêche et de la forêt. Vers la fin du XIXe siècle, une partie de la production était exportée. Ces petites fermes, principalement basées sur la production laitière et l'élevage, cultivaient également quelques récoltes marchandes, dont le navet, la carotte et la pomme de terre. Les vergers se limitaient surtout à la vallée de l'Annapolis, en Nouvelle-Écosse. Ce type d'agriculture nuisait peu aux sols et aux eaux, en autant que la terre se prêtait à la production agricole

Nous faisons face à de nombreux problèmes, mais le jour n'est peut-être pas si éloigné où les scientifiques qui étudient les écosystèmes naturels commenceront à parler aux agriculteurs comme à des égaux, et où les agriculteurs et les chercheurs travailleront ensemble à cette tâche commune qui consiste à apprendre à vivre *décemment* sur la surface terrestre de la planète, en faisant un gagne-pain *décent*.

West Jackson
Alters of Unhewn Stone

et que les gens possédaient un minimum de savoir-faire agricole.

Après la Seconde Guerre mondiale, de nombreuses personnes vivaient en milieu rural, mais sans cultiver la terre. Il y avait amplement de légumes, de produits laitiers et de viande offerts à prix raisonnable, et la majorité des gens travaillaient hors de la ferme. La superficie des terres agricoles améliorées a chuté de 55 % entre 1951 et 1986, sauf à Terre-Neuve où elle a augmenté de 20 % entre 1961 et 1986. Le nombre de fermes a diminué. Cependant, les fermes restantes étaient plus grandes et donnaient lieu à une production plus intensive reposant sur une lourde machinerie et des apports considérables de produits agrochimiques.

Les principaux types de dégradation du sol qu'on observe aujourd'hui dans ces écozones sont une érosion hydrique et une détérioration de la structure imputable au travail du sol et à la circulation. La pratique continue des cultures en rang sans rotation appropriée a également dégradé les sols en appauvrissant leur teneur en matières organiques et en causant une instabilité structurelle, des problèmes de fertilité et une accélération de l'érosion hydrique. La ceinture néo-brunswickoise de culture de la pomme de terre, l'Île-du-Prince-Édouard et certaines régions de la Nouvelle-Écosse sont aux prises avec une grave érosion hydrique. On s'inquiète de l'acidification des sols et d'une contamination des eaux superficielles et souterraines dans les zones où l'agriculture et l'élevage sont pratiqués intensivement. Dans les secteurs que l'on continue de déboiser à des fins agricoles (à Terre-Neuve et au Nouveau-Brunswick), les méthodes de défrichage altèrent souvent les sols. L'Île-du-Prince-Édouard risque grandement de subir une grave érosion éolienne, puisque la majorité des terres y sont cultivées et que de forts vents de l'océan y soufflent.

La gravité du problème de dégradation des sols dans les provinces de l'Atlantique a été occultée par la complexification croissante de la technologie agricole. De nombreux observateurs estiment que cette dégradation a atteint un point tel que la diminution des rendements et de la qualité des récoltes ne peut plus être renversée par l'apport d'engrais et d'autres produits chimiques. Les effets de la dégradation des sols ne se limitent plus à la réduction annuelle des recettes des fermes individuelles; ils menacent, en fait, l'économie de la production végétale dans certaines régions.



Un cadre géographique pour l'évaluation de la qualité du sol

K.B. MacDonald, W.R. Fraser, F. Wang et G.W. Lelyk

Points saillants

- Selon une comparaison des estimations des terres agricoles potentiellement cultivables et effectivement cultivées dans les provinces des Prairies, toutes les bonnes terres et une bonne partie des terres marginales sont déjà en exploitation.
- On a mis au point un nouvel outil, l'indice de qualité inhérente du sol (*QIS*), basé sur des données à grande échelle concernant les sols, le paysage et le climat.
- On a établi un indice de susceptibilité de la qualité du sol (*SQS*) pour repérer les zones agricoles où diverses pratiques d'utilisation et de gestion des terres risquent d'altérer la qualité du sol.
- D'après l'indice QIS, la majorité du territoire agricole des provinces des Prairies est constitué de bonnes terres. Dans cette région, c'est la sécheresse ou la salinité de certains terrains qui y limitent le potentiel de production végétale; les sols les plus vulnérables à la dégradation sont ceux qui font l'objet d'une jachère intensive.
- La culture intensive, spécialement de récoltes en rangs, risque d'altérer la qualité des sols d'une portion considérable du sud de l'Ontario; entre 1981 et 1991, la superficie agricole sous culture intensive en Ontario a augmenté, tout comme la superficie faisant l'objet d'un travail de conservation; de nombreux sols ontariens sont pauvres en matière organique.
- Une évaluation géographique à grande échelle de la qualité du sol permet de cibler les zones méritant une étude plus approfondie et de produire un tableau repère en regard duquel on pourra ultérieurement faire des comparaisons; les interprétations tirées de ces évaluations sont limitées par le niveau de détail des bases de données et par le grand intervalle de temps entre les échantillonnages.

Une éthique de la terre, donc, reflète l'existence d'une conscience écologique, elle-même reflet d'une conviction que la santé de la terre est une responsabilité individuelle. La santé est la capacité de s'auto-renouveler. La conservation représente notre effort de comprendre et de préserver cette capacité.

Aldo Leopold
Sand County Almanac

Introduction

Pour examiner l'état de santé des sols agricoles canadiens, il est bon, au départ, d'avoir une idée générale de la qualité inhérente (naturelle) de ces sols et des principaux facteurs qui influent sur cette qualité. Nous exposons dans ce chapitre un cadre qui permet de brosser un tel tableau.

Une évaluation détaillée de la qualité du sol exige généralement qu'on détermine les propriétés et les processus pédologiques à des endroits précis. Par contraste, une évaluation globale consiste

à examiner la qualité générale du sol sur de vastes superficies. Pour brosser un tableau général de la qualité inhérente des sols, nous avons utilisé des macro-données sur les sols, les paysages et le climat tirées de l'ouvrage *Pédo-paysages du Canada*, sur lesquelles nous avons surimposé des données générales sur les pratiques agricoles tirées du *Recensement de l'agriculture*, pour repérer à quels endroits ces pratiques peuvent altérer la qualité du sol au fil des ans.

Une telle approche globale permet de déterminer avec précision les endroits où la santé du sol est menacée et qui doivent faire l'objet d'une étude plus détaillée.

Étapes de l'évaluation de la qualité des sols

L'évaluation de la qualité du sol comprend cinq étapes simples, valables aussi bien à l'échelle d'un champ qu'à l'échelle d'un pays. Elles peuvent être suivies intuitivement et subjectivement par les agriculteurs, ou encore de façon systématique par des chercheurs faisant appel à des modèles et à des systèmes d'information sophistiqués. Voici ces étapes :

1) Estimer la qualité (inhérente) du sol pour une ou plusieurs de ses fonctions particulières, au moyen de données sur les ressources foncières (ex. un sol profond et bien drainé qui est en mesure de retenir et de libérer d'une façon appropriée les éléments nutritifs se prête bien à la production végétale et sera capable de retenir et de décomposer les substances toxiques).
2) Estimer les conditions physiques susceptibles d'exposer les terres à une perte de qualité, à l'aide de données sur la topographie et les ressources foncières (ex. une forte déclivité et une texture limoneuse en surface rendent le sol vulnérable à l'érosion hydrique).
3) Évaluer les conditions anthropiques susceptibles d'exposer les terres à une perte, à partir de données et de tendances sur l'utilisation et la gestion des terres (ex. la pratique intensive de la culture en rangs dans le sens de la pente favorise l'érosion hydrique et la perte de matière organique du sol).
4) Combiner l'information recueillie dans les étapes 1 à 3 pour prévoir les changements dans la qualité des terres
   a) subjectivement
   b) en observant et en recueillant les nouvelles données sur les ressources foncières
   c) en recourant à des modèles informatisés qui simulent les processus de dégradation des sols, ainsi que des données climatologiques historiques et représentatives.
5) Réévaluer ultérieurement la qualité des sols utilisés à des fins particulières en employant des estimations sur les ressources foncières.

(K.B. MacDonald, AAC, Guelph, Ont.)

Cependant, l'interprétation des données est restreinte non seulement par la grande superficie couverte et le type de données employées, mais aussi par les intervalles quinquennaux séparant les données recueillies par Statistiques Canada dans le *Recensement de l'agriculture*.

Notre représentation géographique de la qualité du sol porte sur les deux plus vastes régions agricoles du Canada, soit les Prairies et le sud de l'Ontario. Nous évaluons :

- la superficie potentiellement cultivable et la superficie effectivement cultivée (provinces des Prairies)
- la qualité inhérente du sol (provinces des Prairies et sud de l'Ontario)
- les régions dont la qualité des sols risque de diminuer (provinces des Prairies et sud de l'Ontario)
- les tendances influant sur la qualité du sol dans les pratiques d'utilisation et de gestion des terres (sud de l'Ontario).

Utilisation agricole des terres

Superficie potentiellement cultivable

Seule une portion limitée du Canada présente des conditions climatiques et pédologiques propices à la production végétale, particulièrement de cultures annuelles. Ces deux facteurs —climat et sols — ont servi à déterminer l'emplacement et la superficie des terres des provinces des Prairies qui peuvent convenir à la production végétale (tableau 3-1).

On considère que pour être cultivable, un secteur doit connaître au moins 1 050 *degrés-jours de croissance* (une mesure de l'énergie thermique utile pour la production végétale) et avoir un sol de bonne qualité. Nous avons coté la qualité du sol selon un indice de *qualité inhérente du sol* (QIS; *voir* la description plus loin).

Superficie effectivement cultivée

Nous avons puisé à deux sources d'information pour estimer l'utilisation effective du territoire :

Tableau 3-1 Ressources foncières des provinces des Prairies

	Manitoba	Saskatchewan	Alberta	Prairies
	(en million d'hectares; % de la superficie provinciale entre parenthèse)			
Superficie de la province	63	63	64	190
	Estimations de la superficie à potentiel agricole			
Terre propice à la production végétale[a]	11 (17)	31 (49)	24 (38)	66 (35)
Terre propice aux cultures annuelles[b]	7 (12)	29 (46)	16 (26)	53 (28)
	Estimations de la superficie effectivement cultivée			
Terres agricoles[c]	8 (12)	27 (43)	21 (32)	55 (29)
Superficie en culture[d]	6 (9)	21 (33)	13 (20)	39 (21)
Terres cultivées[e]	5 (8)	19 (30)	11 (17)	35 (19)

[a] Selon le climat et les critères minimums de QIS.
[b] Cote QIS supérieure à «médiocre».
[c] Ensemble des terrains servant à la culture, au pacage et au pâturage, jachères, bâtiments et enclos de ferme, boisés, marécages et marais, etc.; tiré du *Recensement de l'agriculture* de 1991.
[d] Selon des mesures de la superficie en culture prises par satellite.
[e] Terres cultivées et mises en jachère; selon le *Recensement de l'agriculture* de 1991.

1) des images-satellites obtenues en 1989, permettant de déterminer l'utilisation des terres selon une résolution de un kilomètre carré et n'autorisant qu'une classification générale de l'utilisation des terres ou de la couverture végétale
2) le *Recensement de l'agriculture* de 1991, qui donne sur la couverture végétale des données beaucoup plus détaillées, mais généralisées pour des parcelles qui peuvent atteindre de 10 à 250 km^2.

Environ le tiers de la superficie totale des terres des provinces des Prairies satisfait aux critères pédologiques et climatiques minimums pour l'agriculture, et le quart environ peut soutenir des cultures annuelles (cote QIS supérieure à «médiocre»; *voir* le tableau 3-1). La superficie potentiellement cultivable est supérieure à la superficie effectivement cultivée selon le *Recensement de l'agriculture*, parce qu'elle englobe des zones vouées à d'autres utilisations (p. ex. parcs nationaux et provinciaux, forêts et réserves militaires) et des pâturages. Environ le cinquième du territoire des provinces des Prairies est actuellement en culture.

Qualité inhérente du sol

Nous avons mis au point un indice de qualité inhérente du sol (QIS) qui classe les sols en fonction de quatre éléments déterminant leur aptitude à la production végétale, soit :

- la *porosité du sol* (apports en air et en eau pour les processus biologiques)
- la *rétention des éléments nutritifs* (rétention des nutriments nécessaires aux végétaux)
- les *conditions physiques d'enracinement* (caractéristiques physiques favorables à la croissance des racines)
- les *conditions chimiques d'enracinement* (caractéristiques chimiques favorables à la croissance des racines).

Les données pour ces quatre éléments ont été tirées des inventaires existants sur les ressources foncières. Nous avons attribué à chaque élément de QIS une cote entre 1 et 4 (bon, bon à modéré, modéré à médiocre, médiocre). Les zones ayant la cote la plus restrictive (médiocre) conviennent le mieux aux cultures vivaces, comme les plantes fourragères, et au pâturage. Les zones dont la cote est

Chaque sol est un organisme naturel distinct, qui possède son propre caractère, son cycle évolutif et la capacité de faire vivre des végétaux et des animaux.

Hans Jenny
Meeting the Expectations of the Land

supérieure à «médiocre» peuvent supporter des cultures annuelles.

Les cotes de QIS peuvent servir à évaluer la qualité des sols et à faire des comparaisons interrégionales. Toutefois, comme elles reposent sur des données recueillies sur plusieurs années, elles ne constituent pas un «instantané» de l'état de santé actuel du sol, mais donnent plutôt un aperçu général du potentiel agricole d'un sol.

Cependant, on peut employer certaines cotes particulières de QIS pour déterminer la santé du sol en interprétant les effets possibles des processus de dégradation. Par exemple, la perte d'un centimètre de sol par érosion est un problème beaucoup plus grave sur un sol peu profond possédant une mince couche arable fertile que sur un sol profond dont la couche arable fertile est épaisse. Dans certains cas, il sera important de préserver la qualité des sols ayant une cote de QIS modérée, car tout déclin supplémentaire les rendrait impropres aux cultures annuelles. Dans d'autres cas, il importera davantage de maintenir la qualité des meilleures terres pour optimaliser leur réaction à l'apport de nouveaux intrants (ex. des engrais) dans le sol. Dans la présente section, les quatre éléments de la QIS sont cotés et cartographiés, individuellement et ensemble, pour évaluer la qualité des sols des provinces des Prairies.

Porosité du sol

La quantité et la taille des pores dans le sol déterminent :

- l'efficacité avec laquelle le sol draine l'humidité excédentaire et achemine l'air jusqu'aux racines des plantes
- la quantité d'eau emmagasinée et disponible pour les plantes en croissance, selon les précipitations annuelles.

Dans chaque cas, le plus limitatif de ces deux facteurs a servi à fixer l'indice de QIS pour cet élément.

La plus grande partie de la région sub-humide des provinces des Prairies mérite la cote «bon» pour cet élément de QIS (fig. 3-1*A*). Les secteurs suivants obtiennent une cote inférieure :

- la région de la plaine de la rivière Rouge au Manitoba, où le sol ne peut fournir suffisamment d'air aux racines des plantes, particulièrement au printemps et durant les années humides
- les régions où les précipitations sont peu abondantes durant la saison de croissance, comme le sud-ouest de la Saskatchewan
- les régions où dominent les sols à texture grossière, caractérisés par une faible capacité de stockage de l'eau.

Rétention des éléments nutritifs

Les végétaux tirent de la couche super-ficielle du sol la majorité de leurs éléments nutritifs. La capacité d'un sol à retenir et à libérer les éléments nutritifs dépend de sa capacité de stockage (*capacité d'échange cationique*), laquelle est déterminée par la quantité et le type d'argile et de matière organique qu'on trouve dans le sol. La fig. 3-1*B* indique l'élément de QIS qui évalue la capacité relative du sol à retenir les matériaux en surface. Une bonne partie des terres cultivées des provinces des Prairies obtiennent la cote «bon» pour cet élément. Les secteurs moins bien cotés renferment une forte proportion de sols caractérisés par une couche superficielle à texture grossière et/ou à faible teneur en matière organique.

Cet élément indique également dans quelle mesure les engrais et les pesticides restent à l'endroit où ils ont été épandus et améliorent le rendement des cultures. Il précise aussi la capacité du sol à retenir et à décomposer les substances de rebut, comme le *compost* et les *boues d'égout*.

Conditions physiques d'enracinement

Seule une gamme restreinte de conditions pédologiques optimise la production végétale. Sur le plan physique, un sol propice à l'enracinement est caractérisé par une structure qui assure un apport maximal d'eau et d'air aux plantes (compactage non excessif) et qui est suffisamment ferme pour soutenir les plantes et supporter le passage des machines aratoires, sans toutefois nuire suffisamment au développement des racines et à leur pénétration dans le sol. La figure 3-1C illustre les conditions

physiques d'enracinement dans la production de cultures annuelles. Ces conditions ne semblent pas limiter la production végétale dans les provinces des Prairies. Les cotes inférieures obtenues par certaines régions s'expli-quent par les facteurs suivants :

- sols minces, qui limitent la croissance des racines
- encroûtement (dans le nord)
- présence de *pans* (couches pédologiques denses qui entravent le développement des racines)
- dégradation du sol causée par une perte de matière organique.

Conditions chimiques d'enracinement

Les conditions chimiques d'enracinement peuvent être d'origine naturelle ou être modifiées par l'homme. Les conditions propices aux cultures agricoles en général sont notamment un pH compris entre 6 et 8 et une teneur assez faible en sels solubles. La figure 3-1*D* indique à quels endroits les conditions chimiques naturelles se prêtent à une diversité générale de cultures céréalières et oléagineuses. Les zones peu propices du sud des provinces des Prairies sont caractérisées par un sol très salin. La salinité est un facteur particulièrement restrictif lorsqu'elle affecte la surface du sol, et un peu moins quand elle se produit dans les couches plus profondes. Dans le nord, un faible pH limite la croissance végétale.

Repérage des secteurs où la santé du sol risque de décliner

Par santé du sol, on entend l'état ou la condition des propriétés et des processus pédologiques à un moment donné. La santé du sol peut évoluer au fil du temps à mesure que les propriétés inhérentes (naturelles) du sol, décrites ci-dessus, sont modifiées par le climat, le pédo-paysage et l'activité humaine (pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres).

Idéalement, le repérage des sols agricoles dont la santé est menacée devrait reposer sur des modèles informatisés dûment

Rôle des bases de données dans l'évaluation géographique de la qualité du sol

Dans notre monde moderne, il faut procéder à une grande diversité d'évaluations agricoles, notamment pour satisfaire aux exigences des accords internationaux touchant la gestion de l'agriculture et de l'environnement (GATT, Accord de libre-échange nord-américain). Antérieurement, les spécialistes qui procédaient à des évaluations régionales et nationales à grande échelle de la qualité des terres (ex. l'Inventaire des terres du Canada) se fiaient à leurs connaissances personnelles lorsqu'ils devaient faire des ajustements pour compenser les lacunes en matière d'information et les incohérences entre les régions géographiques. Aujourd'hui cependant, les évaluations doivent être dûment documentées et reproductibles. Les méthodes d'évaluation de la QIS (qualité inhérente du sol) et de la SQS (susceptibilité de la qualité du sol) illustrent bien comment les progrès réalisés au niveau des connaissances, du traitement des données et de la technologie peuvent contribuer à satisfaire aux besoins actuels et futurs d'évaluation de la qualité des terres.

Statistique Canada recueille depuis de nombreuses années des données de recensement, qui ne sont toutefois disponibles que depuis peu sous forme informatisée. L'imagerie satellite caractérisant la couverture végétale est également une innovation récente. Des données sur les ressources foncières sont obtenues depuis de nombreuses années, mais leur contenu et leur niveau de détail varient beaucoup. L'établissement de la Base nationale de données sur les sols, au Centre de recherche sur les terres et les ressources biologiques d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, a permis d'uniformiser les bases de données foncières. On trouve dans *Pédo-paysages du Canada* une série de cartes présentant des données sur les ressources foncières, selon une même présentation pour l'ensemble du Canada.

L'évaluation de la qualité inhérente des sols (QIS) et l'évaluation de la susceptibilité de la qualité du sol (SQS) constituent une des premières utilisations des données tirées de *Pédo-paysages du Canada*. Des données puisées à diverses sources ont été combinées et analysées à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) informatisé, pour produire des analyses régionales à grande échelle. Bien que la mise au point du système ait nécessité l'apport de spécialistes, il peut maintenant faire l'objet d'un examen critique et être modifié à mesure qu'on recueille de nouvelles données. En outre, comme le système utilise les formats standards de la Base nationale de données sur les sols, on peut s'en servir pour faire des évaluations plus détaillées de la qualité du sol et de sa susceptibilité au changement, en employant des données à plus petite échelle sur les ressources foncières et leur utilisation.

(W.R. Fraser, AAC, Winnipeg, Man.)

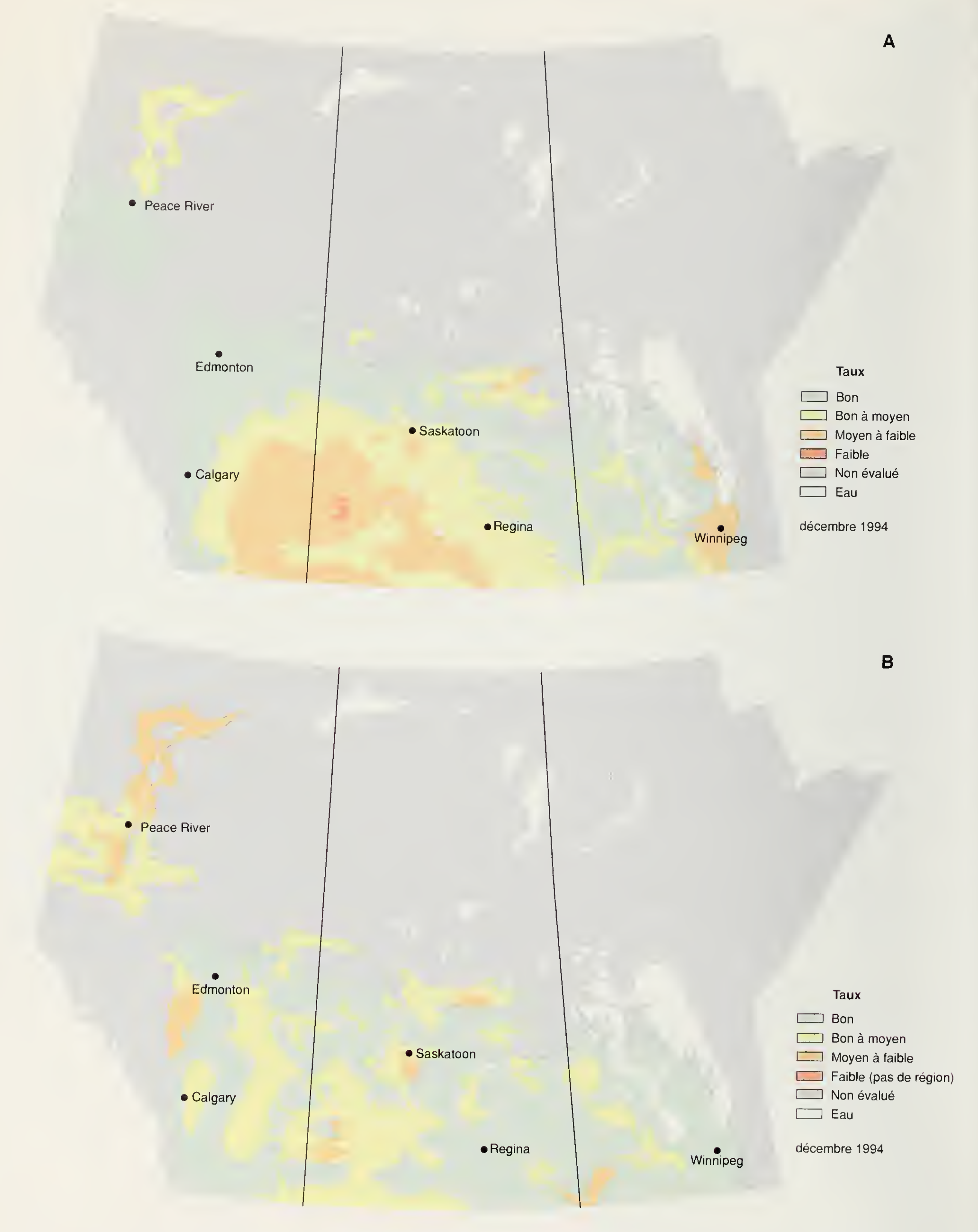


Figure 3-1 Qualité inhérente du sol (QIS) dans les Prairies. *A* : Porosité du sol pour la production végétale. *B* : Capacité de rétention des éléments nutritifs pour la production végétale.

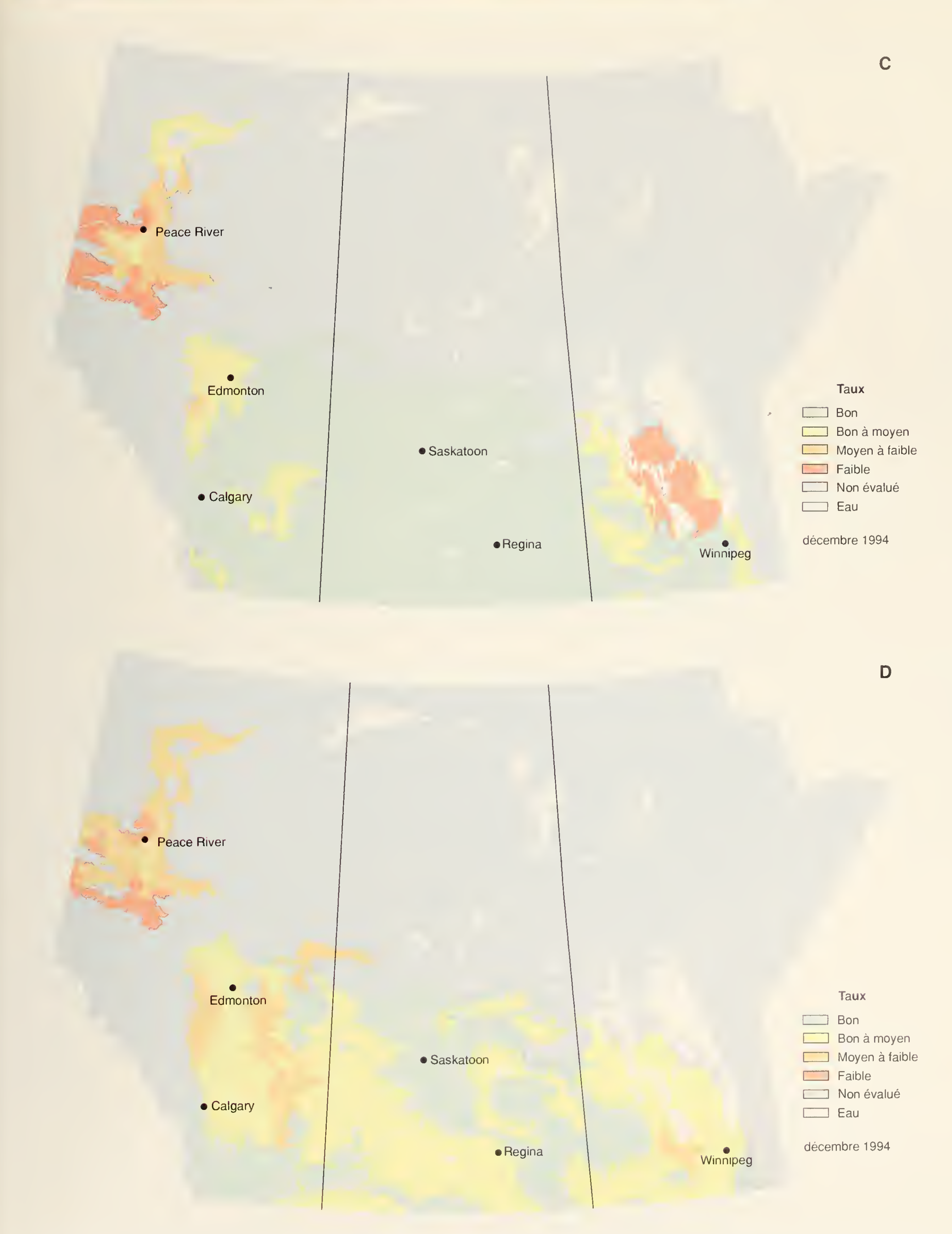


Figure 3-1 Qualité inhérente du sol (QIS) dans les Prairies. *C* : Conditions physiques d'enracinement pour la production végétale. *D* : Conditions chimiques d'enracinement pour la production végétale.

validés simulant la dégradation du sol à partir de mesures réelles prises sur le terrain, mais on ne dispose pas encore de tels modèles et des *bases de données* nécessaires à leur fonctionnement. Faute de tels outils, nous avons mis au point un indice de susceptibilité de la qualité du sol (SQS) basé sur des données sur les pédo-paysages et les données du *Recensement de l'agriculture*. Pour le choix des facteurs (diverses conditions du paysage, propriétés du sol et pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres) et des *valeurs limites* réelles (points où la qualité du sol est susceptible de changer), nous avons tenu compte de leur importance dans les processus de modification des sols ainsi que de l'information publiée à leur sujet.

Conditions du sol et du paysage

L'érosion est un processus qui dégrade le sol en lui faisant perdre sa matière minérale et organique. Les sols à texture fine sont particulièrement vulnérables à l'érosion, spécialement dans les terrains en pente. Nous avons retenu les facteurs suivants pour repérer les zones vulnérables à l'érosion :

- déclivité de la pente (une pente supérieure à 9 % était considérée comme étant la valeur limite)
- texture superficielle du sol (les sols limoneux étaient considérés comme étant les plus vulnérables)
- la teneur en matière organique de la couche supérieure du sol (une teneur en matière organique inférieure à 2 %, basée sur des concentrations de carbone organique de 1 % ou moins, était considérée comme un signe d'érosion).

À la figure 3-2, les régions où ces conditions existent (provinces des Prairies et sud de l'Ontario) sont cartographiées avec, en arrière-plan, la qualité inhérente du sol (représentée par le plus restrictif des quatre éléments de la QIS, puisque la qualité d'un sol est fonction de l'élément le plus faible). Les secteurs les plus vulnérables sont ceux où l'on retrouve plus d'un des facteurs d'étude, notamment quand la qualité inhérente est médiocre. Toutes proportions gardées, le risque de dégradation du sol attribuable aux propriétés du sol et du paysage est moins grand dans les provinces des Prairies que dans le sud de l'Ontario, où la superficie des terres renfermant moins de 2 % de matière organique (tableau 3-2) est au moins dix fois plus grande.

Pratiques d'utilisation et de gestion des terres

L'appauvrissement du sol en matière organique est un type de dégradation associé aux pratiques de gestion qui donnent lieu à une culture intensive et à une exposition de la surface du sol, notamment quand le sol est pauvre en matière organique. Nous avons retenu les trois facteurs suivants pour repérer les endroits où les pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres pourraient affecter la qualité du sol :

- intensité de l'activité culturale (mise en culture de plus de 70 % des terres agricoles)
- intensité de la jachère (mise en jachère de plus de 30 % des terres agricoles — provinces des Prairies seulement)
- intensité de la culture en rangs (culture en rangs sur plus de 60 % des terres cultivées — sud de l'Ontario seulement).

Dans les provinces des Prairies, une bonne partie du territoire où la qualité du sol est susceptible d'être altérée par les conditions du sol et du paysage est constituée de réserves forestières ou de parcs. Une agriculture intensive est pratiquée dans les environs d'Edmonton et au nord de Calgary en Alberta, dans le nord-est de la zone agricole de la Saskatchewan et dans le sud du Manitoba (fig. 3-3*A*). Les sols y obtiennent généralement une cote modérée à élevée quant aux éléments de QIS «capacité de retenir les éléments nutritifs» et «capacité d'approvisionner les plantes en air et en eau». Les autres secteurs susceptibles d'être dégradés sont les terres mises en jachère intensive dans les régions arides du sud de l'Alberta et du sud-ouest de la Saskatchewan. Souvent, les sols de ces régions présentent une cote modérée à médiocre pour la capacité d'approvisionnement en air et en eau (fig. 3-1*A*). Cependant, comme la superficie mise en jachère englobe des terres considérées comme bonnes à modérées pour cet élément de QIS, il se peut qu'une réduction de la superficie mise en jachère

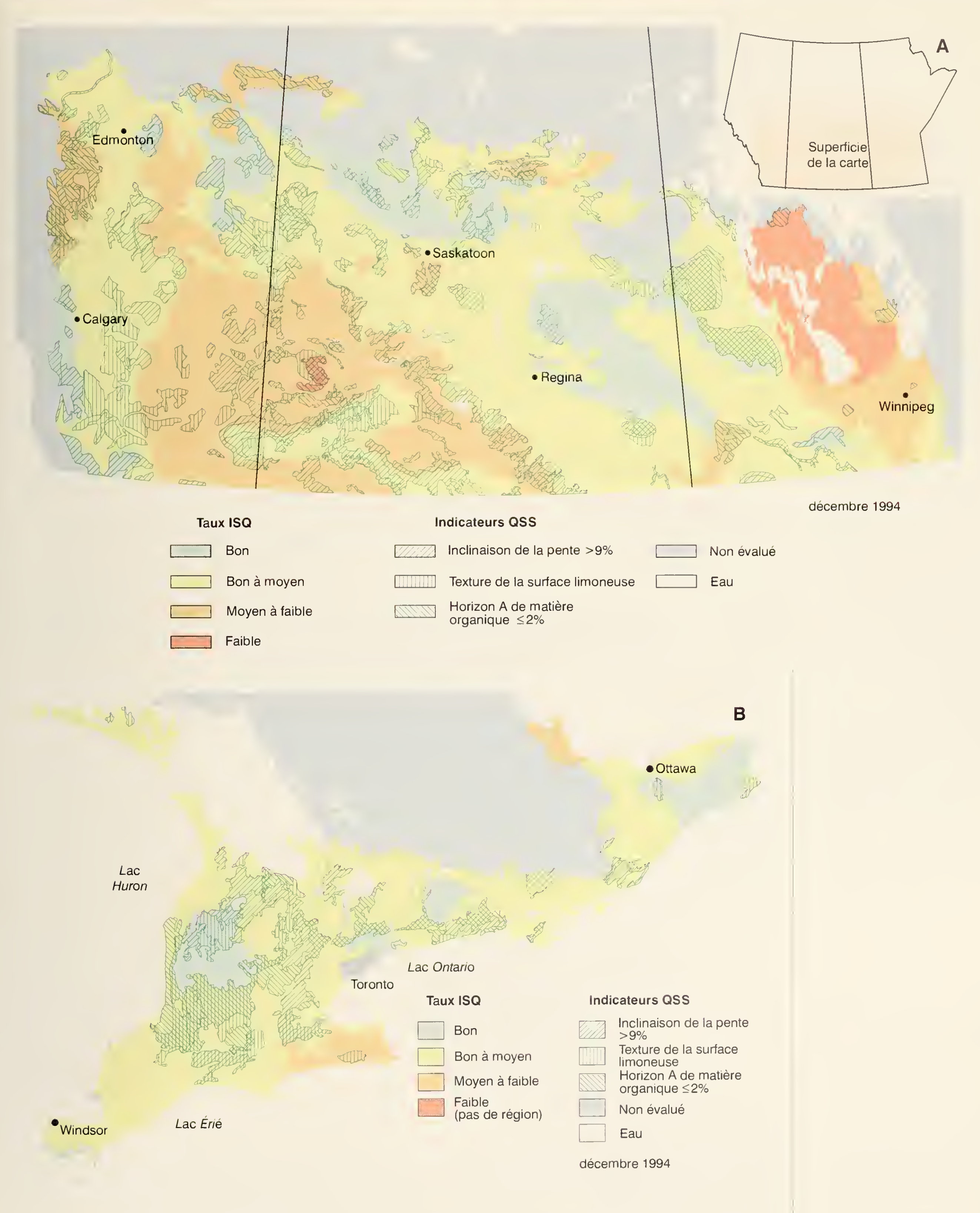


Figure 3-2 **Secteurs où diverses pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres menacent la qualité du sol.**
***A* : Provinces des Prairies.** ***B* : Sud de l'Ontario.**

... l'agriculture, dans l'ensemble, a été et est aujourd'hui une entreprise beaucoup plus complexe que les voyages dans l'espace ne pourront jamais le devenir ... en partie parce que l'agriculture procède de la nature vivante et est donc complexe, et en partie parce que la recherche de sources sûres d'alimentation a accaparé davantage de cerveaux humains que toute autre tâche.

Wes Jackson
Altars of Unhewn Stone

dans ces régions se solde par une amélioration de la qualité du sol. Plus de 60 % des agriculteurs des Prairies indiquent recourir au travail de conservation sur au moins 20 % de leurs terres cultivées (tableau 3-2).

Dans le sud de l'Ontario, l'agriculture intensive est pratiquée dans une bonne partie du sud-ouest et au sud-est d'Ottawa. Les sols des basses terres du lac Érié sont particulièrement vulnérables à la dégradation, en raison du caractère généralisé et intensif des cultures en rangs (fig. 3-3*B*). Plus de 40 % des agriculteurs du sud de l'Ontario recourent au travail de conservation sur au moins 20 % de leurs terres cultivées (tableau 3-2).

Tendances en matière d'utilisation et d'aménagement des terres

Les pratiques d'utilisation et de gestion des terres sont des facteurs de modification de la qualité du sol qui relèvent de la volonté humaine et sont mesurables à court terme. On trouve à la figure 3-4 un exemple de tendance qualitative résultant d'une modification des pratiques agricoles. Le tableau 3-2 compare l'intensité culturale (proportion du territoire agricole sous culture) dans le sud de l'Ontario en 1981 et 1991. L'intensité culturale connaît une hausse en 10 ans, mais on n'observe aucune modification de l'importance relative des cultures en rangs. En 1991, l'intensité culturale avait augmenté dans l'est de l'Ontario et diminué au nord du lac Érié, tandis que le travail de conservation avait gagné en popularité. Les valeurs limites quant aux caractéristiques des sols et des paysages et aux pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres sont dépassées sur de vastes superficies (tableau 3-2). Il y aurait lieu de consacrer des études plus détaillées à ces secteurs, pour déterminer l'étendue réelle de la dégradation des sols et établir des plans d'aménagement appropriés.

Tableau 3-2 Superficie (pourcentage de la superficie totale dont on a évalué la qualité inhérente du sol) où diverses caractéristiques du paysage ou du sol ou certaines pratiques de gestion risquent de modifier la qualité du sol

	Provinces des Prairies	Sud de l'Ontario	
Conditions du sol et du paysage			
Déclivité supérieure à 9 %	14	12	
Forte teneur en limon à la surface du sol	11	15	
Moins de 1 % de carbone organique à la surface du sol	1	11	
Conditions d'utilisation et de gestion des terres	1991	1981	1991
Intensité culturale (culture de plus de 70 % des terres agricoles)	10	38	41
Jachère (plus de 30 % des terres agricoles)	12	-	-
Cultures en rangs (plus de 60 % des terres en culture)	-	16	16
Travail de conservation (plus de 20 % de la surface ensemencée)	63	-	43
Secteurs[a] où le pédo-paysage *et* les pratiques d'utilisation et de gestion risquent d'entraîner un changement de qualité	2,4	5,8	7,3

[a] Secteurs où au moins une des conditions du pédo-paysage (déclivité, teneur en limon ou concentration de carbone organique) se superpose à au moins une pratique d'utilisation ou d'aménagement des terres (intensité culturale, jachère ou culture en rangs).



Figure 3-3 **Secteurs où diverses pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres menacent la qualité du sol.**
A **: Provinces des Prairies, 1991.** ***B*** **: Sud de l'Ontario, 1991.**

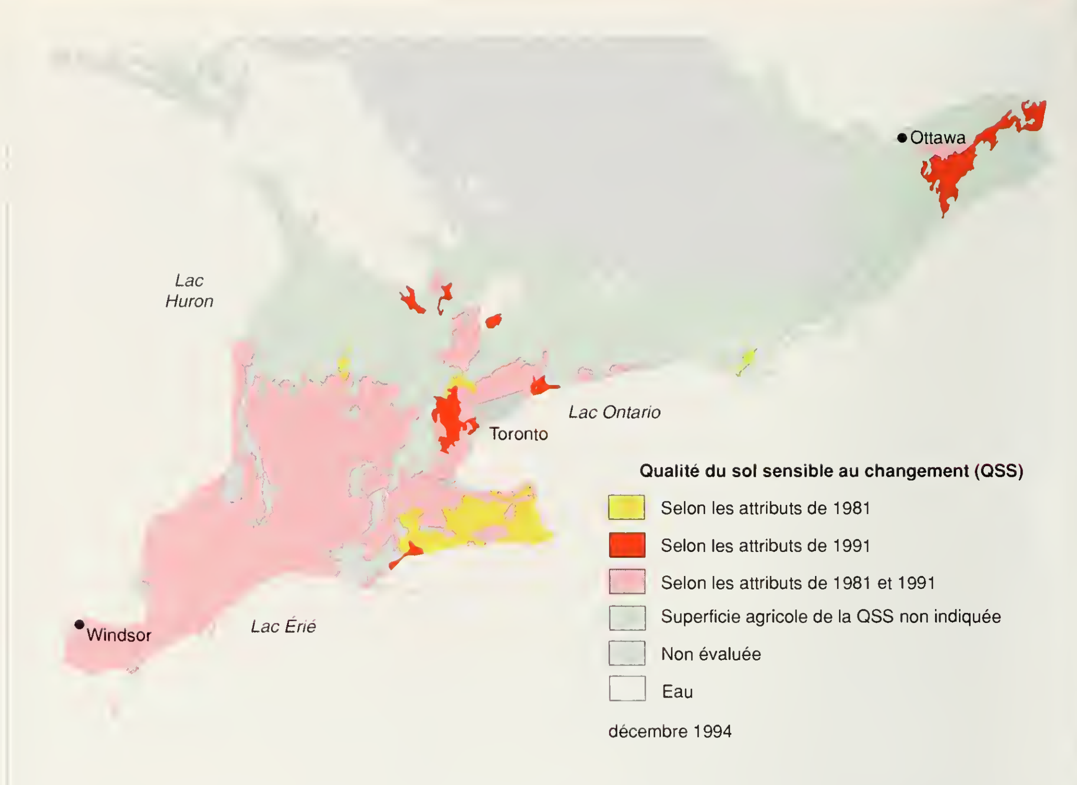


Figure 3-4 Secteurs du sud de l'Ontario où diverses pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres menacent la qualité du sol, 1981 à 1991. (Selon le *Recensement sur l'agriculture* de 1981 et 1991).

On doit se rappeler que le savoir ne se conjugue qu'au passé; l'apprentissage, au présent; la prévision, au futur. Pour assurer la pérennité des forêts (de l'agriculture), nous devons être en mesure de savoir, d'apprendre et de prédire.

Chris Maser
The Redesigned Forest

Conclusions

La modification de la qualité du sol est un phénomène naturel qui touche toutes les régions. Les processus de dégradation peuvent être accélérés du seul fait des conditions naturelles du pédo-paysage lui-même, ou encore en combinaison avec les pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres. Il incombe aux pédologues de définir dans quelle mesure les sols sont vulnérables à la dégradation et de déterminer les pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres qui contribuent à la dégra- dation ou qui permettent d'y remédier.

La présente évaluation montre les liens généraux qui existent entre la qualité du sol et les pratiques d'utilisation et d'aménagement des terres; toutefois, elle ne permet pas d'analyser explicitement les effets de l'agriculture sur la qualité du sol. À mesure que les recherches nous permettront de mieux comprendre les indicateurs de qualité du sol et les processus de dégradation du sol, il sera possible de modifier aussi bien les paramètres (facteurs d'étude retenus) et les valeurs limites de ces paramètres, dans les futures évaluations à grande échelle de la qualité du sol.



Lieux témoins destinés à la surveillance de la qualité des sols agricoles

C.Wang, L.J. Gregorich, H. W. Rees, B. D. Walker, D. A. Holmstrom, E. A. Kenney, D. King, L.M. Kozak, W. Michalyna, M. C. Nolin, K. T. Webb et E. F. Woodrow

Faits saillants

- Un programme national de lieux témoins a été mis sur pied en vue de surveiller les changements qui se produisent dans la santé des sols agricoles, en particulier les changements causés par les pratiques d'utilisation et de gestion des sols.
- Les ensembles de données de base conçus à cette fin couvrent les thèmes suivants : l'historique de l'exploitation agricole; la description du sol et du relief; les mesures de diverses propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol. Plusieurs facteurs climatiques sont également mesurés en huit endroits.
- Certaines propriétés du sol font l'objet de mesures annuelles. D'autres propriétés sont mesurées tous les 5 ans ou tous les 10 ans, selon leur sensibilité (c'est-à-dire selon la vitesse à laquelle les changements s'opèrent). Les propriétés du sol sont réparties en trois catégories : sensibles, modérément sensibles ou insensibles.
- La constitution des ensembles de données de base sera achevée en 1995 pour tous les lieux témoins. Un premier ensemble de données de rééchantillonnage a été constitué pour 6 des 23 lieux témoins.
- Les premiers résultats du programme permettent de tirer certaines conclusions quant aux effets des pratiques culturales sur la santé des sols.

Introduction

Au Canada, le thème de l'agriculture durable a soulevé des questions en ce qui concerne la santé de nos sols agricoles et les effets des pratiques culturales sur la santé des sols, notamment :

- Comment les changements dans les propriétés du sol influent-ils sur le rendement des cultures?
- Existe-t-il des cultures ou des rotations de cultures qui dégradent le sol plus que d'autres?
- La méthode de travail du sol a-t-elle une incidence sur la santé du sol?
- Nos sols sont-ils suffisamment riches en matière organique? Que pouvons-nous faire pour les améliorer à cet égard?
- Jusqu'à quel point le phénomène de l'érosion des sols est-il répandu? Quelles pratiques culturales augmentent ou réduisent le risque d'érosion?
- Jusqu'à quel point le problème de déstructuration du sol est-il répandu? Comment peut-on atténuer le tassement du sol causé au passage des véhicules agricoles?

Il faut de toute urgence se doter d'institutions capables de surveiller et d'évaluer de façon continue l'état ou la qualité des ressources de la planète.

Parr et al., 1992

Questions

Quel est l'état de santé des sols agricoles du Canada?
Quel est l'effet de l'utilisation du sol et des méthodes de gestion sur l'état de santé des sols?

Programme national de surveillance de santé des sols

Résultats

- mise en place d'un réseau national de lieux de surveillance
- constitution d'une base de données nationale sur la qualité des sols
- vérification de méthodes d'essai et de simulation concernant la qualité des sols
- mise en oeuvre, par les fermiers, de méthodes de gestion permettant de préserver la qualité de sols
- travaux de recherche axés sur les grands problèmes en matière de conservation des sols
- établissement, par les décideurs, d'orientations politiques visant à protéger la qualité des sols
- coopération des groupes de recherche aux fins des études sur la qualité du sol

(L.J. Gregorich)

- Quand et comment doit-on utiliser les produits agrochimiques? Que se passe-t-il quand ces produits s'accumulent dans le sol?

De façon générale, cependant, on ne disposait pas des données scientifiques nécessaires pour répondre à ces questions, ni aux autres questions concernant un large éventail de conditions agricoles observées au Canada. Un certain nombre d'études sur divers aspects de la santé des sols étaient en cours ici et là au Canada, mais la plupart de ces études avaient un objet limité : elles s'intéressaient à des propriétés, des utilisations ou des méthodes de gestion des sols bien particulières.

Il y avait nécessité d'un système qui permette de surveiller la qualité des sols agricoles dans tout le pays. Il fallait que ce système rende compte de la santé des sols pour différentes utilisations et selon différentes pratiques culturales. Avec le temps, le système devrait révéler de

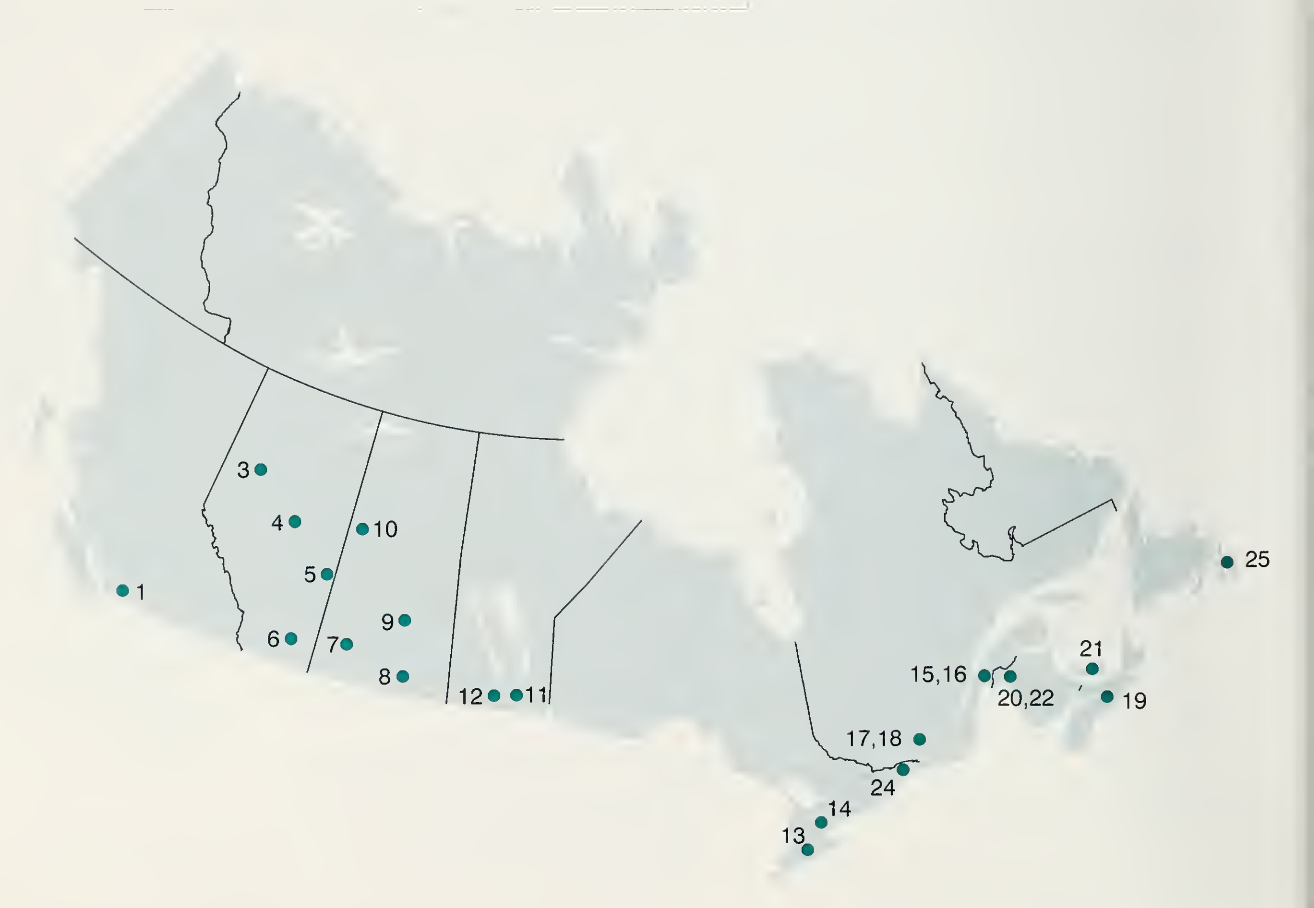


Figure 4-1 Lieux témoins destinés à la surveillance de la santé des sols au Canada.

quelle façon le climat, le relief et l'usage agricole du sol influent sur la santé du sol.

En janvier 1988, à l'occasion d'un atelier national sur la surveillance de la qualité des sols, les participants en sont venus à la conclusion que nous ne possédions qu'un vague portrait de la santé des sols agricoles du Canada. On a alors convenu de la nécessité de mettre en place un réseau national de surveillance de la qualité des sols. On a également convenu que l'on sélectionnerait à cette fin un certain nombre de *lieux agricoles témoins* répartis dans tout le Canada. Il s'agirait de lieux où l'on mesurerait certaines caractéristiques du sol et de l'environnement, selon des méthodes normalisées et à intervalles réguliers, de façon à pouvoir observer les changements dans le temps.

En 1989, sept lieux témoins ont été établis, puis échantillonnés, dans l'est du Canada. Le Programme national de conservation des sols a commencé à contribuer au projet en 1990, et seize autres lieux témoins ont été sélectionnés, puis échantillonnés en 1993. Pour l'ensemble du Canada, cela représentait donc un nombre total de 23 lieux témoins (fig. 4-1). La constitution des ensembles de données de référence (soit le premier ensemble de mesures obtenues pour chaque lieu témoin) sera terminée en 1995. La surveillance de la qualité du sol se poursuivra sur une période d'au moins 10 ans après la collecte du premier ensemble de données ou jusqu'à ce que l'on dégage des tendances claires quant à l'évolution de la santé des sols.

Objectifs du réseau de lieux témoins

Le réseau de lieux témoins permettra de mesurer diverses propriétés des sols et divers processus de la vie des sols, à des moments et dans des lieux déterminés, sur une longue période de temps. De cette façon, le réseau fournira des "instantanés" de la santé des sols; il permettra aux chercheurs de suivre l'évolution des sols au fil du temps et d'établir des relations entre les changements observés et l'utilisation du sol, les méthodes de gestion ainsi que d'autres facteurs.

Les principaux objectifs du réseau de lieux témoins se définissent comme suit :

- constituer des ensembles de données de base et de rééchantillonnage permettant de mesurer les changements survenus dans la santé et la productivité des sols (soit la capacité de production agricole, mesurée sous forme de rendement cultural) pour des systèmes de production agricoles types
- permettre l'essai et la vérification de modèles prévisionnels de dégradation et de productivité des sols
- déterminer si les systèmes agricoles mis en oeuvre dans les principales régions agricoles du Canada peuvent durer
- constituer un réseau national de lieux témoins permettant aux administrations publiques et groupes non gouvernementaux de mener des travaux de recherche en commun.

Sélection d'un lieu témoin

La production de pommes de terre fournit plus de 20 % des revenus en espèces des fermiers du Nouveau-Brunswick. Plus de 20 000 hectares sont cultivés en pommes de terre chaque année dans cette province, et plus de 50 000 hectares sont utilisés dans une rotation intégrant la pomme de terre.

La stabilité de l'industrie de la pomme de terre repose sur la qualité des sols qui produisent la pomme de terre. Des sols dégradés sont généralement plus vulnérables aux conditions climatiques extrêmes, comme une sécheresse ou une pluie diluvienne. Or, ces conditions peuvent provoquer de fortes variations dans la production de pommes de terre d'une année à l'autre et ainsi déséquilibrer une industrie déjà instable.

Les surfaces cultivées en pommes de terre sont particulièrement sujettes à se dégrader sous l'effet de l'érosion et du tassement du sol. L'érosion causée par les eaux coûterait aux fermiers de 10 à 12 millions de dollars par année, tandis que le tassement du sol entraînerait un coût annuel de 1 million de dollars (en dollars de 1986).

Le lieu témoin n° 20 est situé à 5 km environ au sud-est de Grand Falls, dans le comté de Victoria, dans la partie nord-ouest du Nouveau-Brunswick. Il y règne un climat semi-tempéré, et l'endroit est marqué par une prédominance de podzols d'origine morainique. Ce lieu a été choisi parce qu'il est représentatif des surfaces cultivées en pommes de terre dans la région. Il s'agit d'un terrain de 4,3 hectares situé sur une ferme commerciale et cultivé en pommes de terres de façon intensive, selon une alternance pomme de terre-céréales. Les pratiques culturales y comprennent une façon traditionnelle, une fertilisation au moyen d'engrais chimiques et l'usage de pesticides.

(L.J. Gregorich)

Lieux témoins

Les lieux témoins ont été sélectionnés en fonction de sept facteurs préalablement déterminés par les scientifiques et les fermiers. Il fallait que ces lieux représentent le principal type de relief rencontré dans les plus importantes régions agricoles du Canada. Les lieux témoins ne devaient être constitués que de terres cultivées et ils devaient représenter :

- une zone agricole ou une région agricole importante, ou les deux
- un relief type ou un large groupement de textures de sols, ou les deux
- un important réseau de production agricole au sein d'une région.

Ils devaient également :

- bien cadrer avec les préoccupations agricoles de la province
- montrer des signes ou des risques de dégradation du sol
- couvrir une superficie de 5 à 10 ha (soit l'équivalent d'un petit bassin hydrographique dans certains cas).

L'accent a été mis sur les quatre premiers points, de façon que les résultats des travaux de surveillance permettent d'évaluer le plus grand nombre possible de reliefs et de systèmes agricoles semblables, ainsi que la plus grande superficie possible de sols agricoles, dans chacune des régions agricoles.

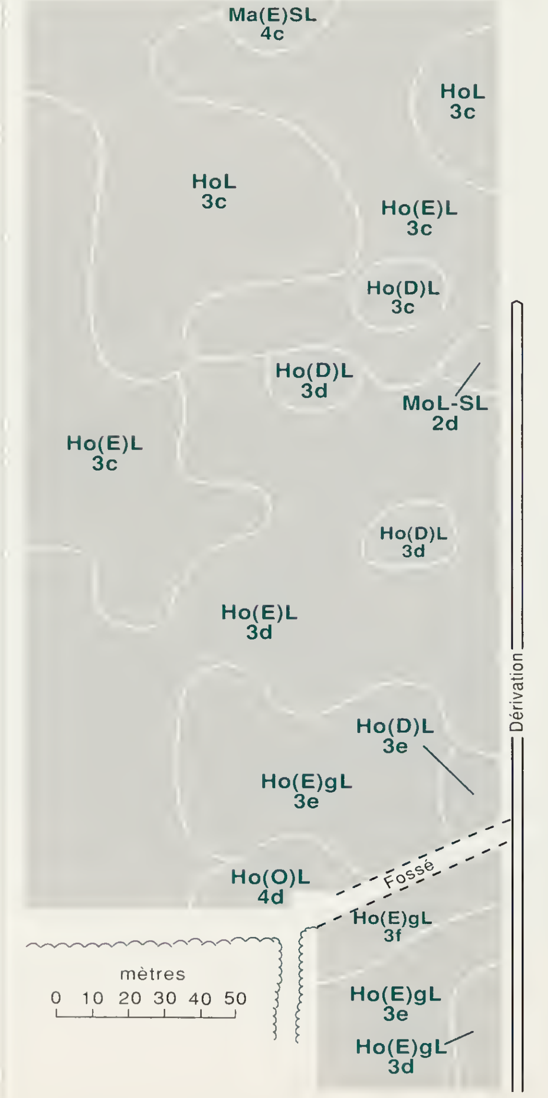


Figure 4-2
Carte pédologique montrant les types de sols sur le lieu témoin n° 20, au Nouveau-Brunswick.

Légende:

Association de sol:

Ho Holmesville
Ma Maliseet
Mo Monquart

Phase :

D Profondeur (l'épaisseur de matériel au-dessus de la couche compacte varie entre 50 et 100 cm)
E Érodée (l'horizon B a complètement disparu)
O Débordement (l'horizon Ap est plus de 1,5 fois plus épais que la moyenne)

Texture de la surface :

gL Loam graveleux
L Loam
SL Loam sableux

Drainage:

2 Terrain bien drainé
3 Terrain modérément bien drainé
4 Généralement bien ou modérément bien drainé, mais mal drainé par endroits

Pente :

c 2-5 %
d 5-9 %
e 9-15 %
f 15-30 %

Ensembles de données de base

Pour pouvoir observer les variations de la qualité des sols dans le temps et dans l'espace, il faut disposer d'un ensemble de données de base. Cet ensemble, qui se compose d'observations effectuées au début de la période de surveillance, constitue le point de comparaison auquel l'on rapporte les observations ultérieures.

Base de données de l'historique de l'exploitation agricole

Des entretiens avec les fermiers permirent de constituer un dossier historique de l'exploitation sur chaque lieu témoin. Les informations recueillies portèrent sur les trois aspects suivants :

1) l'identification du lieu (notamment des descriptions juridiques et écologiques);
2) l'historique du lieu (notamment l'acquisition du terrain; la date des premières cultures; la gestion du sol durant les premières années; les principaux changements survenus dans les pratiques culturales; la rotation des cultures; le système de travail des sols; le rendement et la qualité des cultures; l'usage d'engrais chimiques, d'engrais organiques, d'amendements synthétiques ainsi que de pesticides et d'herbicides chimiques; l'amélioration du drainage; les problèmes de dégradation);
3) les pratiques agricoles actuelles (notamment le mode de rotation des cultures, la façon, la gestion des cultures, les procédés de récolte, la machinerie agricole).

Cartes pédologiques et topographiques

Pour chacun des lieux, les cartes suivantes ont été établies :

- une carte des types de sols (fig. 4-2) à la grandeur du lieu, établie à l'échelle du 1/2000, sinon à une échelle plus grande, d'après des observations recueillies en 40 points d'observation au moins
- une carte du *relief* (fig. 4- 3A) du lieu témoin, dressée à l'aide des cotes (élévation relative d'un point situé à la surface du sol) établies pour une centaine de points choisis.

L'information fournie par la carte topographique permet de représenter le relief du terrain, telles les buttes et les fossés, ainsi que le sens de l'écoulement des eaux. Cette carte peut également

Propriétés du sol sensibles

Propriété du sol sensible	Avantages	Problèmes
Réaction du sol (pH ou acidité)	Les cultures nécessitent une plage de pH particulière; le taux de croissance maximal de la plupart des plantes cultivées correspond à un pH compris entre 6 et 8	La plupart des plantes cultivées poussent médiocrement dans des sols acides (faible pH) ou au contraire alcalins (pH élevé)
Phosphore (P) et potassium (K) disponibles	Nutriments culturaux essentiels	Des quantités excédentaires de K et P peuvent provoquer une contamination des eacux de surface et des eaux souterraines
Matière organique du sol, mesurée sous forme de carbone organique (C)	Maintient la structure du sol, retient et fournit aux plantes des nutriments et de l'eau	La perte de matière organique du sol peut entraîner une baisse de fécondité, une dégradation de la structure et un risque accru d'érosion
Azote total (N)	Nutriment cultural essentiel	Présent en excès, N peut provoquer une contamination des eaux de surface et des eaux souterraines
Masse volumique apparente	Les sols possédant une faible masse volumique apparente (sols granuleux et bien aérés) assurent une bonne croissance des racines, une bonne infiltration d'eau et une bonne réaction	Les sols possédant une masse volumique apparente élevée (sols compacts, durs) sont caractérisés par une plus faible infiltration d'air et d'eau ainsi que par un risque accru d'érosion et de détérioration plus poussée
Répartition granulométrique de l'agrégat sec	Les sols possédant un agrégat sec en bon état sont stables, faciles à cultiver et constituent de bons lits de semence	La désintégration de l'agrégat en fines particules de sol augmente le risque d'érosion et de perte de matière organique

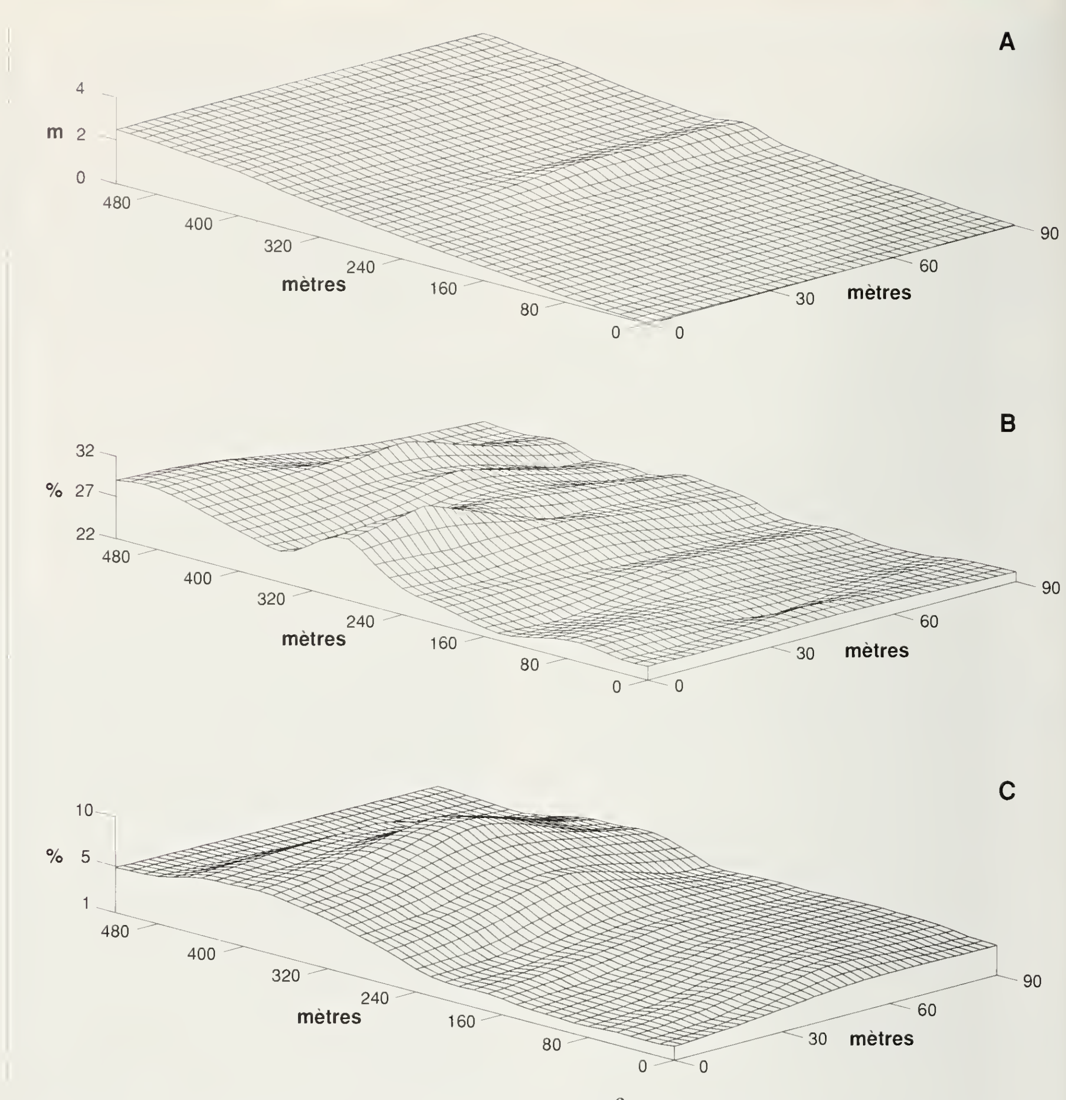


Figure 4-3 Propriétés observées sur le lieu témoin n° 18, au Québec. A : relief; B : humidité de la couche arable; C : teneur en matière organique de la couche arable

constituer le fonds repère sur lequel on superposera les représentations d'autres phénomènes concernant les sols ou le relief. Enfin, c'est un instrument qui permet de déterminer la position stratégique des points d'échantillonnage et de rééchantillonnage.

Échantillonnage du sol

Trois types d'échantillons sont prélevés de la façon suivante :

- des échantillons de toutes les principales couches des deux sols les plus représentatifs observés sur le lieu témoin
- de 60 à 100 échantillons de sol superficiel prélevés en vrac en des points choisis du lieu témoin, en vue de pouvoir mesurer la redistribution du sol à l'aide de méthodes d'analyse faisant appel au césium
- de 60 à 100 échantillons de sol superficiel prélevés en vrac en des points choisis du lieu témoin, en vue de recueillir des données de base sur ce lieu.

Une partie de chaque échantillon est stockée dans une *banque d'échantillons de sols* qui permettra ultérieurement d'effectuer d'autres essais.

Propriétés du sol

L'atelier tenu en 1988 sur la qualité des sols a permis de définir un certain nombre de propriétés chimiques, physiques, biologiques et minéralogiques des sols destinées à constituer les éléments clés des ensembles de données de base. Ces propriétés ont été réparties dans les trois catégories suivantes (tableau 4-1) :

- les propriétés sensibles, soit celles qui sont susceptibles de connaître des modifications importantes en moins de 10 ans
- les propriétés modérément sensibles, soit celles qui sont susceptibles de connaître des modifications étalées sur des décennies
- les propriétés insensibles, soit celles qui ne devraient pas connaître de modifications importantes au cours des 100 prochaines années.

Les propriétés insensibles, bien que l'on ne prévoit pas qu'elles puissent subir des changements pendant la durée de l'étude, sont importantes pour évaluer la santé générale du sol des lieux témoins.

Les données concernant certaines des propriétés physiques et biologiques du sol sont recueillies sur le terrain (tableau 4-1). La détermination du coefficient de perméabilité du sol, saturé ou non saturé, révèle les caractéristiques d'écoulement des eaux dans la couche d'enracinement, de même que l'évolution à long terme de la structure du sol. Les mesures faites à l'aide du *pénétromètre* nous renseigne sur la résistance du sol (cette résistance influe sur la pousse des racines et la croissance des végétaux, des phénomènes qui agissent à leur tour sur la teneur du sol en eau disponible pour les végétaux). Les biopores, soit les chemins empruntés par les racines et par les vers de terre, sont importants pour la circulation de l'eau dans un sol saturé et pour l'aération du sol. Les vers de terre agissent de façon importante sur la structure du sol : une forte densité de ces animaux contribue à créer une meilleure structure, en augmentant l'aération du sol ainsi que la disponibilité des matières organiques. Le rendement des cultures (soit la quantité et la qualité de la récolte) est influencé par un grand nombre de propriétés du sol et de processus liés à la vie du sol; il

Tableau 4-1 Propriétés chimiques, physiques, biologiques et minéralogiques du sol mesurées sur les lieux témoins

Propriétés sensibles[1]	**Propriétés insensibles**[4]
Réaction du sol (pH)	Répartition granulométrique
Phosphore et potassium disponibles	Caractéristiques minéralogiques de l'argile[5]
Carbone organique	Superficie totale de terrain
Azote total	Éléments totaux (aluminium, calcium, cobalt chrome, cuivre, fer, potassium, lithium, magnésium, sodium, nickel, plomb, zinc)
Masse volumique apparente	
Répartition granulométrique de l'agrégat sec	
Distribution du césium[137]	**Propriétés mesurées sur le site**
Fer et aluminium extractibles[2]	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé
Propriétés modérément sensibles[3]	Coefficient de perméabilité d'un sol près du point de saturation
Pouvoir d'échange cationique et cations échangeables	Mesures du pénétromètre et humidité du sol
Carbonates	Conductivité électromagnétique du sol[7]
Capacité de rétention du sol	Dénombrements des biopores et des racines
	Dénombrements des vers de terre[8]
	Rendement des cutlures

[1] Mesurées tous les cinq ans.
[2] Dans le cas des *podzols* seulement.
[3] Mesurées tous les dix ans.
[4] Mesurées seulement au début de la période d'observation, pour l'établissement des données de base.
[5] Un usage intensif d'engrais riches en azote et en potassium peut entraîner une altération de certaines argiles silicatées, et des études spéciales peuvent s'avérer nécessaires.
[6] Mesurées sur place chaque année.
[7] Seulement dans les zones où pourrait se présenter un problème de salinité.
[8] Sauf dans les provinces des Prairies.

s'agit de la manifestation la plus tangible de la santé d'un sol agricole.

État d'avancement de l'étude

Ensembles de données de base

Une grande partie des informations de base ont déjà été recueillies sur les lieux témoins. La plupart des données ont été organisées et entrées dans une base de données nationale (un ensemble d'informations) sur les lieux témoins. Cette base de données fournit des informations précieuses sur les tendances de certaines propriétés du sol et permet aux chercheurs d'observer de quelle façon un élément donné est influencé par les autres caractéristiques du sol.

L'une des vérités fondamentales en ce qui concerne la fabrication des produits, c'est que l'échantillonnage ne peut donner de la qualité à un produit qui n'en a pas... De même, le fait de surveiller la qualité du sol ne peut rien changer à cette qualité. Par conséquent, une gestion durable des terres nécessite un effort délibéré en vue d'élaborer des systèmes de gestion des terres qui ne provoquent pas de dégradation.

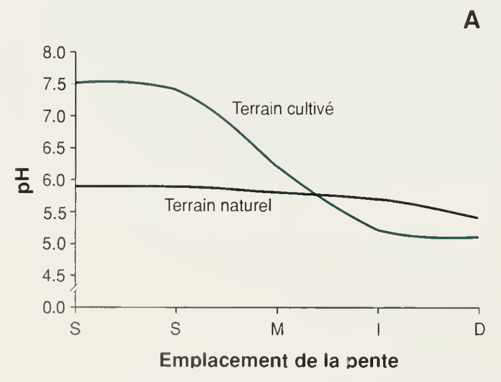
F.J. Pierce et W.E. Larson
Developing Criteria to Evaluate Sustainable Land Management

Exemple 1

Un observateur non averti pourrait penser que le lieu témoin n° 18, situé au Québec, occupe un terrain plat. Cependant, si l'on porte sur une carte les courbes de niveau de ce terrain, l'on découvre une légère pente, traversée à mi-chemin par une petite butte de forme allongée (fig. 4-3*A*). Cette butte, bien qu'il s'agisse d'un accident de terrain mineur, exerce une nette influence sur les caractéristiques du sol de ce lieu. En mesurant l'humidité du sol (fig. 4-3*B*), nous avons découvert un taux d'humidité plus élevé directement derrière la butte, donc dans le haut de la pente. La configuration du ruissellement est influencée elle aussi : l'eau contourne la butte et s'écoule vers le côté opposé par rapport à la base du versant, si bien que le sol situé directement en contrebas de la butte présente une humidité nettement inférieure. De même, la teneur en matière organique (fig. 4-3*C*) s'est révélée plus élevée derrière la butte. Le phénomène s'explique probablement par une plus grande humidité du sol à cet endroit, d'où une meilleure croissance des végétaux et une teneur supérieure en matière organique restituée au sol.

Exemple 2

Le lieu témoin n° 5, situé en Alberta, présente un relief accidenté (fig. 4-1). Ce lieu témoin national est contigu à un autre lieu également utilisé pour des recherches dans le domaine agricole, situé celui-là sur des terres non cultivées, où le sol est demeuré à l'état naturel. La contiguïté des deux terrains fournit la possibilité d'observer directement les effets de l'agriculture sur un sol naturel. Les points d'échantillonnage ont été répartis le long des pentes, aussi bien sur le terrain cultivé (depuis 1912) que sur le terrain naturel. Les propriétés du sol varient considérablement selon l'usage du sol et la position par rapport à la pente. Dans le haut des collines (sommet et partie supérieure des versants), la couche arable a un pH élevé (fig. 4-4*A*) et une faible teneur en matière organique (fig. 4-4*B*), sur le terrain cultivé comme sur le terrain naturel. Étant donné la faible épaisseur de la couche arable et l'érosion, le travail agricole a fait remonter la matière constituant le sous-sol près de la surface. Les carbonates contenus dans le sous-sol, qui ont un pH élevé (ils sont *alcalins*), se sont mélangés à la couche labourée, de sorte que l'on retrouve maintenant un pH plus élevé vers le haut de la colline. Le long des pentes cultivées, l'absence de couverture herbeuse a pour effet



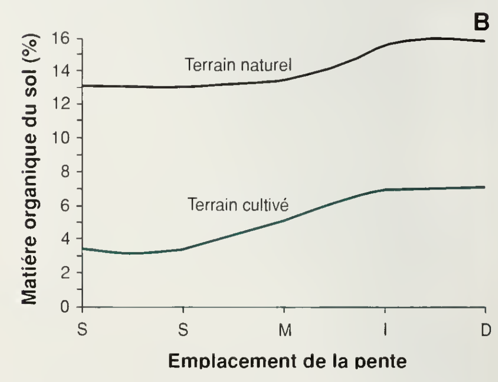


Figure 4-4 **Effets du relief au lieu témoin 5, Alberta, dans la couche labourée (environ 10 cm) A : pH; B : matière organique.**

d'accentuer le ruissellement des eaux de précipitation. À son tour, le ruissellement exagère le lessivage par l'eau dans le bas des pentes; en conséquence, le pH observé en ce point des pentes est plus faible sur le terrain cultivé que sur le terrain naturel.

La teneur en matière organique est beaucoup plus faible, sur le terrain cultivé que sur le terrain naturel (environ 25 % sur le haut de la colline et 50 % dans la partie inférieure de la pente). Le fait de cultiver a comme conséquence de diluer et de réduire la teneur en matière organique rencontrée à l'état naturel dans le sol des prairies, un phénomène plus marqué sur le haut des collines (sommet et partie supérieure de la pente). À ce niveau, la couche arable est pauvre en matière organique et en azote. Dans la partie inférieure de la pente et dans les dépressions, cependant, la teneur en matière organique et en azote est beaucoup plus élevée. (La matière organique du sol est traitée plus en détail au chapitre 5.)

Surveillance et résultats préliminaires

Le rééchantillonnage du sol des lieux témoins se fait selon le programme de surveillance (voir la note de bas de page du tableau 4-1), par prélèvement de 60 à 100 échantillons de sol en vrac, en des points déterminés, répartis à l'intérieur du lieu. Dans le cas des terrains accidentés, les mesures des propriétés du sol sont regroupées selon la position par rapport au relief. Toutes les mesures prises dans la partie supérieure des pentes forment une même catégorie, tandis que les mesures prises à mi-pente ou encore dans la partie inférieure des pentes forment une autre catégorie. Ce mode de groupement permet d'observer les différences qui existent dans la façon dont la qualité des sols évolue en fonction de la position le long des pentes.

Six lieux témoins ont fait l'objet d'un rééchantillonnage en 1993, et déjà, à ce moment-là, certaines tendances relatives à la qualité du sol ont ressorti clairement.

Exemple

Les lieux témoins n°s 20 et 22, situés au Nouveau-Brunswick (fig. 4-1), ont le

Famille vivant sur un des lieux témoins

La première fois où Dennis Carter a remarqué des signes de dégradation du sol, sur la ferme familiale, c'est à l'époque où, enfant, il aidait son père. «Lorsque vous voyez le sol entassé le long des clôtures et des rigoles creusées par l'érosion en travers des champs, vous comprenez qu'il y a un problème», de raconter M. Carter. Quand nous sommes entrés en contact avec lui en 1990, pour lui proposer qu'une partie de sa ferme devienne un lieu témoin (en l'occurrence le n° 5), M. Carter a accepté : «Je voulais savoir, dit-il, combien la ferme avait perdu exactement au cours des années.»

Dennis Carter a repris la ferme familiale en 1975. Par la suite, il a combiné l'exploitation agricole et les études au Lakeland Agricultural College. En collaboration avec son frère, John, il exploite 13 quarts de section occupant un terrain valonneux, près de Provost, en Alberta, dans la partie nord de la zone de sol brun foncé. Les deux frères pratiquent une façon culturale classique et un assolement du type canola-céréale-jachère, soit des méthodes caractéristiques de cette région agricole.

Il existe encore une petite superficie de terrain demeurée à l'état de prairie vierge sur la terre de son frère. Les chercheurs du réseau de lieux témoins ont comparé les mesures des propriétés du sol à cet endroit avec celles qu'ils ont prises sur le lieu témoin de la ferme de Dennis, afin de déterminer quels avaient été les effets de 80 ans de culture sur l'état du sol. Comme l'ont montré leurs études, il reste aujourd'hui environ 50 % de la matière organique originale.

Dennis Carter observe des signes de dégradation dans ses champs. Certaines parties de sa terre sont «plus difficiles à travailler», et quand le sol est labouré, «il devient grumeleux, moins meuble». Il y a trois ans, il a donc commencé à soustraire certaines parcelles à l'assolement, pour y planter de la luzerne, qu'il vend comme fourrage. Il a déjà noté une différence dans la couche arable soumise à ce traitement et il parle maintenant d'appliquer d'autres méthodes de conservation. Il note cependant que le recours à ces méthodes est généralement «une question de finances - il faut attendre d'avoir assez d'argent pour pouvoir acheter le matériel spécial dont vous avez besoin». Il est néanmoins optimiste, car sa femme Cheryl et lui ont trois jeunes fils qui feront du domaine des Carter une ferme familiale de quatrième génération. Pour y arriver, ils auront besoin d'un bon sol.



La famille Carter : Dennis, Michael 11, Jason 3, Cheryl et Kevin 8

(L.J. Gregorich)

Mais avoir soin de la terre est notre plus ancienne, notre plus précieuse et surtout notre plus agréable responsabilité. Notre seul espoir légitime réside dans le fait de chérir ce qu'il en reste et de veiller à son renouvellement.

Wendell Berry
The Unsetting of America: Culture and Agriculture

même type de sol et des pentes semblables. Les deux endroits font l'objet de techniques culturales similaires et présentent les mêmes modalités de rotation des cultures, soit deux années de culture de la pomme de terre suivies d'une année de culture céréalière. (Cette formule n'est pas typique du Nouveau-Brunswick, où la rotation est généralement plus restreinte, soit une année consacrée à la pomme de terre, suivie d'une année ou plus consacrée aux céréales.) Le lieu témoin n° 22 comporte des *terrasses* et des *fossés enherbés* utilisés pour lutter contre l'érosion; sur le lieu témoin n° 20, l'espace cultivé couvre à la fois le haut et le bas des pentes.

Une comparaison des données de base et des données de rééchantillonnage recueillies aux deux endroits (fig. 4-5) permet de constater que sur une période de trois ans la teneur en matière organique du sol a peu varié sur le lieu témoin n° 22, tandis qu'elle a chuté de 5 % sur le lieu témoin n° 20, soit de 10 à 20 fois plus dans le cas du second. Aux deux endroits, presque toute l'érosion s'est produite pendant la période consacrée à la pomme de terre. De tels résultats illustrent l'efficacité des moyens de lutte contre l'érosion pour ce qui est de limiter les pertes de matière organique du sol.

Le lieu témoin n° 21, situé sur l'Île-du-Prince-Édouard (fig. 4-1), est l'objet de la rotation culturale suivante : une année de pommes de terres, suivie d'une année de céréales, puis de deux années de plantes fourragères que les labours incorporent au sol. Au début, la teneur en matière organique y était inférieure aux valeurs obtenues pour les deux lieux témoins du Nouveau-Brunswick, puisqu'un système agricole antérieur avait provoqué une dégradation du sol. Toutefois, entre 1989 et 1993, la teneur en matière organique du premier lieu a connu une augmentation légère, après que la récolte de plantes fourragères a été incorporée au sol deux années consécutives (cette technique permet de restituer au sol de la matière organique et des nutriments).

La remise en état d'un sol dégradé peut nécessiter de nombreuses années. Dans le cas du lieu témoin situé sur l'Île-du-Prince-Édouard, la rotation quadriennale n'a que légèrement amélioré la richesse du sol en matière organique. Cette observation démontre qu'il faut moins de temps et d'énergie pour maintenir un sol en bon état et en prévenir la dégradation qu'il n'en faut pour remettre un sol dégradé en bon état.

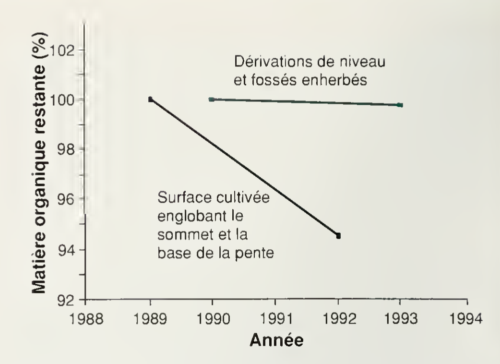


Figure 4-5 Teneur en matière organique de la couche arable sur deux lieux témoins situé au Nouveau-Brunswick.

Perspectives

Le réseau de lieux témoins s'avère très prometteur comme moyen de surveiller la qualité de sols agricoles choisis. En plus de retracer systématiquement l'évolution de certaines propriétés individuelles du sol au fil des ans, le réseau montre les relations qui existent entre ces propriétés et révèle de quelle façon les pratiques culturales actuelles agissent sur la qualité des sols. Les premiers résultats ont révélé que les propriétés sensibles choisies pour des mesures aux cinq ans sont bel et bien mesurables et qu'elles donnent une bonne idée des changements survenus dans la qualité des sols.

À une époque où les moyens financiers sont limités, alors que les besoins en matière de recherche sont pressants, le simple bon sens veut que les parties intéressées collaborent entre elles pour les besoins de la recherche agricole. Le réseau de lieux témoins permet aux chercheurs de nombreux organismes d'utiliser sa base de données, de mettre sur pied des programmes complémentaires et d'appliquer les résultats obtenus à un plus grand éventail de lieux.



Modification de la matière organique du sol

E.G. Gregorich, D.A. Angers, C.A. Campbell, M.R. Carter, C.F. Drury, B.H. Ellert, P.H. Groenevelt, D.A. Holmstrom, C.M. Monreal, H.W. Rees, R.P. Voroney et T.J. Vyn

Points saillants

- La matière organique est une composante essentielle du sol qui stocke et libère les éléments nutritifs assimilables par les végétaux, facilite l'infiltration de l'eau dans le sol, retient le carbone, stabilise le sol, réduit l'érosion et régularise l'action des pesticides.
- La teneur en matière organique des sols agricoles canadiens a diminué de 15 à 30 % depuis qu'on les cultive.
- On voit actuellement à maintenir ou à augmenter la teneur en matière organique de nombreuses terres cultivées, au Canada.
- Les teneurs optimales en matière organique pour la production végétale varient selon le type de sol; elles sont encore mal définies pour les sols canadiens.
- Les systèmes agricoles basés sur un travail de conservation du sol avec fertilisation appropriée et réduction de la mise en jachère font augmenter la teneur en matière organique du sol.
- L'addition de résidus de culture, de fumier animal, d'engrais vert, de boues d'égout, de copeaux de bois ou de tourbe permet de hausser la teneur en matière organique du sol.

La terre, donc, n'est pas simplement le sol; c'est une fontaine d'énergie qui se propage dans un circuit de sols, de végétaux et d'animaux. Les chaînes alimentaires forment les canaux vivants qui acheminent l'énergie vers le haut; la mort et la décomposition la retournent au sol. Le circuit n'est pas fermé — une partie de l'énergie se dissipe dans la décomposition, une partie est tirée de l'atmosphère par absorption, une partie est stockée dans les sols, les tourbes et les forêts qui jouissent d'une longue vie...

Aldo Leopold
Sand Country Almanac

Introduction

La matière organique, c'est tout ce qui vit ou a déjà été vivant. La *matière organique du sol* englobe les résidus végétaux et animaux aux divers stades de décomposition, les cellules et les tissus des organismes du sol, ainsi que les substances produites par les microbes du sol (fig. 5-1). Une fois bien décomposée, la matière organique forme l'*humus*, un matériau brun foncé, poreux et spongieux qui dégage une agréable odeur terreuse.

La matière organique est une composante essentielle du sol, pour plusieurs raisons :

- elle agglomère les particules du sol et stabilise ce dernier, qui devient moins érodable
- elle favorise la croissance des végétaux en permettant au sol de mieux stocker et acheminer l'air et l'eau
- elle emmagasine et libère bon nombre des éléments nutritifs nécessaires à la croissance des végétaux et des organismes du sol
- elle empêche le compactage du sol, qu'il est ainsi plus facile de travailler
- elle retient le carbone de l'atmosphère

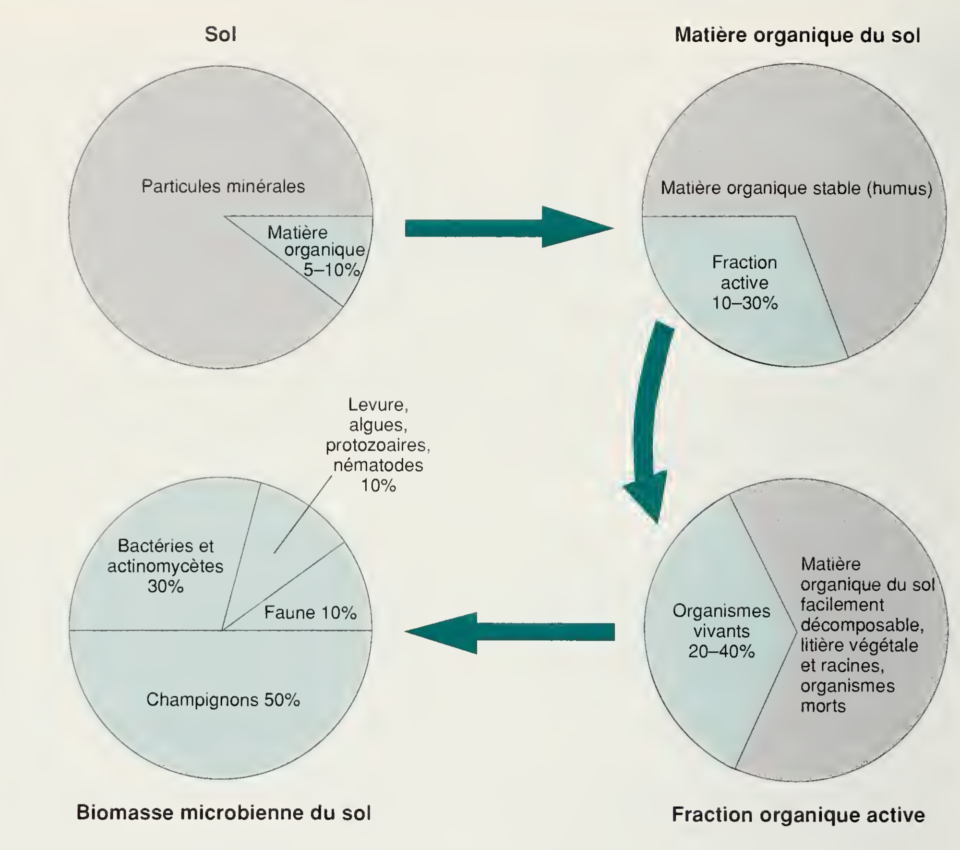


Figure 5-1 Composition de la matière organique du sol.

- elle atténue les effets environnementaux négatifs des pesticides, des *métaux lourds* et de nombreux autres polluants.

Dans ce chapitre, nous faisons le point sur l'état de la matière organique dans les sols agricoles canadiens. En outre, nous évaluons les effets de l'agriculture sur la matière organique du sol et nous cernons les pratiques qui contribuent à appauvrir ou à enrichir la matière organique du sol.

Composition de la matière organique du sol

Le climat, la végétation, le matériau parental (matières ayant donné naissance au sol), la topographie (formes du relief), l'utilisation des terres et les pratiques agricoles sont tous des facteurs qui influent sur la matière organique du sol. Le cycle du carbone se résume comme suit : absorption du dioxyde de carbone par les plantes, transfert à la matière organique du sol puis restitution dans l'atmosphère (fig. 5-2). La matière

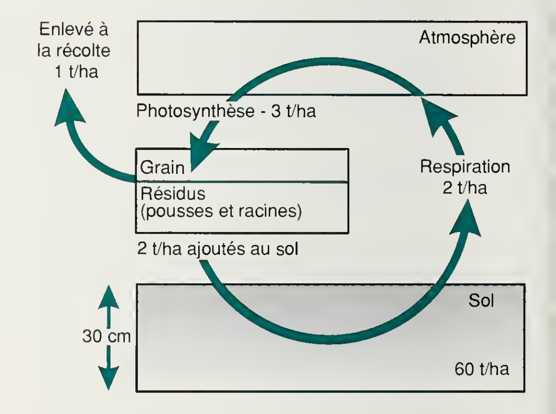


Figure 5-2
Le cycle du carbone.
Équilibre des apports et des pertes de carbone durant une année de culture du blé de printemps dans un sol chernozémique (t = tonne métrique ou 1 000 kg).

organique du sol, à l'instar des végétaux et des animaux dont elle est dérivée, est composée de chaînes et de noyaux carbonés auxquels se fixent d'autres atomes. Souvent, on utilise indifféremment les expressions «matière organique du sol» et «carbone organique du sol», car le carbone, principale composante de la matière organique, est facilement mesurable en laboratoire. Alors qu'on trouve environ 40 % de carbone dans la matière organique végétale sèche et non décomposée, la proportion atteint généralement quelque 50 % dans le cas de la matière organique du sol, laquelle contient aussi environ 40 % d'oxygène, 5 % d'hydrogène, 4 % d'azote et 1 % de soufre.

Concentrations de matières organiques dans le sol

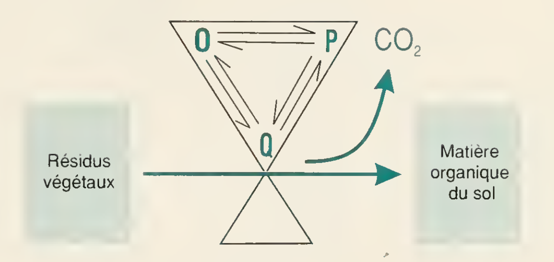
La teneur en matière organique du sol dépend de la quantité de matière organique ajoutée au sol (apports) et de la quantité libérée ou enlevée (pertes). Ce sont principalement les processus biologiques de croissance des végétaux et de décomposition de la matière organique qui déterminent si la matière organique du sol augmente, diminue ou demeure stable.

Dans un écosystème non forestier, les 30 cm supérieurs du sol sont habituellement beaucoup plus riches en carbone organique que les racines, les feuilles et les tiges des plantes (fig. 5-3). Les sols agricoles peuvent contenir plus de dix fois plus de carbone que les végétaux cultivés.

La teneur en matière organique du sol varie beaucoup, allant de 1 à 10 % (poids sec total) pour la plupart des sols agricoles jusqu'à plus de 90 % dans les zones humides où la tourbe s'est accumulée (fig. 5-4). Les sols chernozémiques formés dans les écosystèmes herbeux des Prairies sont riches en matière organique. Ils forment la plus vaste superficie de terres agricoles améliorées au Canada (voir la carte à l'intérieur de la couverture). Les sols typiques de l'est du Canada, comme les gleysols (formés dans des conditions de mauvais drainage) et les podzols (sols acides formés sous les arbres), sont aussi relativement riches en matière organique,

La machine à décomposition

La transformation des résidus végétaux en matière organique du sol est régulée par trois facteurs : les organismes (O), l'environnement physico-chimique (P) et la qualité des résidus (Q). Ces facteurs servent de soupape dans la «machine à décomposition» et déterminent le rythme et le degré de la décomposition des résidus dans le sol.



Les pratiques agricoles peuvent influencer un de ces facteurs, ou tous ces facteurs. Ainsi, la culture sans labour laisse en surface d'abondants résidus de culture, qui transforment l'environnement physique en modifiant la température et l'humidité du sol. L'utilisation de plantes fourragères légumineuses, comme la luzerne, modifie la qualité des résidus ajoutés au sol.

(E.G. Gregorich, AAC, Ottawa, Ont.)

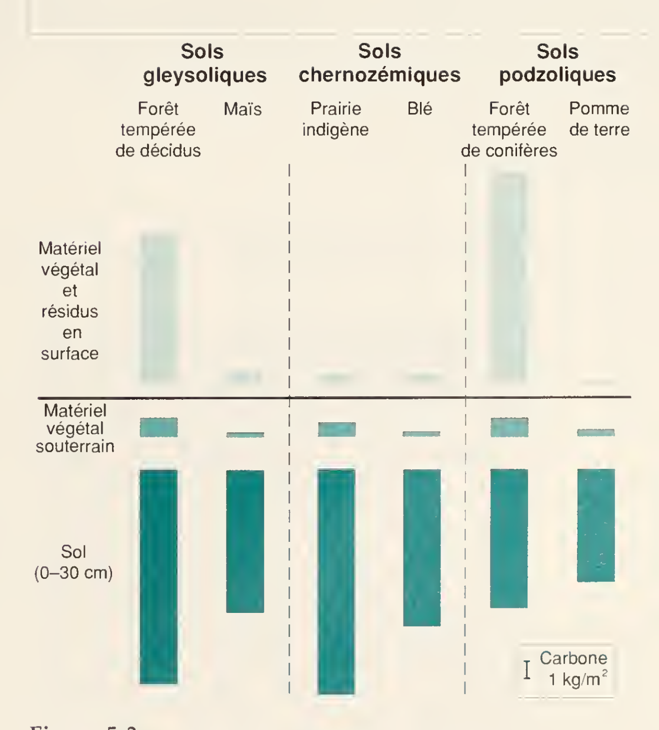


Figure 5-3
Le carbone dans les écosystèmes terrestres.
Quantité de carbone dans le matériel végétal et les résidus en surface, les racines et dans le matériel souterrain des 30 cm supérieurs du sol, pour différents écosystèmes indigènes et agricoles.



Figure 5-4 **Teneur en carbone des sols de surface au Canada.**

mais ne représentant pas une proportion importante du territoire agricole. Les sols organiques (qu'on trouve dans les tourbières, les fens et les marécages) présentent la plus forte concentration de matière organique, mais n'occupent qu'une faible partie des terres cultivées du Canada.

La teneur optimale en matière organique d'un sol dépend du climat local, de l'abondance et du type de matériau argileux présent dans le sol, et de la vocation des terres. Idéalement, dans un sol de bonne qualité, toutes les fonctions de la matière organique énumérées ci-dessus peuvent s'exercer au maximum. Cependant, la matière organique du sol ne peut à elle seule fournir la quantité et le juste mélange d'éléments nutritifs nécessaires à une culture intensive, et l'on doit enrichir le sol pour répondre aux besoins des récoltes. Par ailleurs, le sol a besoin de quantités optimales de matière organique pour préserver sa structure et demeurer cultivable.

Diminution de la teneur en matière organique du sol

En cultivant le sol pour produire des récoltes, spécialement des cultures annuelles, on modifie le système naturel plantes-sol. Les opérations de récolte enlèvent une bonne partie du matériel végétal et laissent peu de choses qui peuvent être réincorporées au sol pour reconstituer sa matière organique. On enlève presque complètement certaines plantes, en laissant peu de résidus. Il est

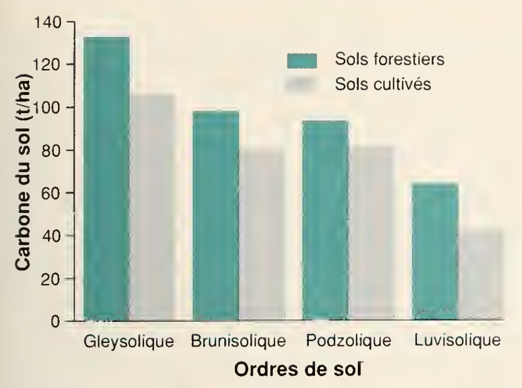


Figure 5-5
Le carbone dans les sols forestiers et les sols cultivés adjacents de l'est du Canada.

possible d'ajouter des engrais commerciaux pour remplacer les éléments nutritifs enlevés du sol, mais ils n'augmentent pas directement la matière organique du sol. Ils favorisent plutôt la croissance des végétaux, ce qui permet le retour au sol d'une plus grande quantité de résidus. Pour maintenir ou augmenter la teneur en matière organique du sol, on doit y ajouter d'autres matières telles que les résidus de culture, le fumier animal, l'*engrais vert* (plantes légumineuses comme la luzerne et le trèfle rouge, ainsi que des herbes), du compost, de la tourbe et des copeaux de bois.

La conversion à des fins agricoles d'un sol forestier ou pastoral intact entraîne habituellement une diminution de la teneur en matière organique (fig. 5-5), pour les raisons suivantes :

- la matière organique qui se trouve dans le sol se décompose plus rapidement, en raison des opérations de labour et d'un changement d'humidité, d'aération et de température
- il y a ralentissement du processus de reconstitution de la matière organique du sol par les résidus de culture.

Sur la foi d'études menées dans les années 1970 et 1980 concernant l'appauvrissement du sol en matière organique, des chercheurs ont avancé que les terres vierges auraient perdu jusqu'à 50 à 70 % de leur matière organique depuis leur mise en culture. Cependant, une récente enquête effectuée dans l'est du Canada sous l'égide du Programme national de conservation des sols laisse croire que ces estimations sont excessives et que les pertes réelles varieraient plutôt entre 15 et 30 %.

L'appauvrissement du sol en matière organique se produit surtout dans les 10 années qui suivent le déboisement de la forêt ou le désherbage de la prairie indigène; l'ampleur de la perte varie selon le type de sol. Une perte d'azote n'est pas nécessairement aussi grave qu'une perte de carbone, puisque la production agricole implique généralement un apport d'engrais azotés. L'addition d'azote peut donner au sol une concentration d'azote égale ou supérieure à celle que l'on trouve à l'état naturel dans les sols intacts.

Qu'est-ce qui vit dans votre sol?

Un sol en santé fourmille d'organismes vivants. En fait, un hectare abrite environ 20 000 kg d'organismes du sol, soit l'équivalent du poids de 26 chevaux. Tout en ne formant qu'environ 5 % de la matière organique du sol, ces organismes sont essentiels à de nombreux processus pédologiques. Par leurs fonctions dans le cycle de décomposition, ils régulent le cheminement de l'énergie dans le sol, le cycle des éléments nutritifs et la productivité des écosystèmes agricoles.

Les organismes du sol se répartissent en deux grands groupes : les *invertébrés*, comme les vers de terre, les mille-pattes et les insectes; 2) les microorganismes, comme les bactéries, les champignons et les protozoaires. Les invertébrés favorisent la décomposition en dévorant les résidus végétaux à la surface du sol et en les rejetant, sous forme de déjections, dans l'environnement plus humide qui règne à une plus grande profondeur. Le processus de digestion décompose la matière en particules plus fines dont se nourrissent les microorganismes. Ceux-ci poursuivent la digestion de la matière organique, libérant des éléments nutritifs pour les plantes et des gaz et produisant des colles qui agglutinent les particules minérales du sol pour former des agrégats.

Le sol peut faire vivre une population active d'organismes s'il présente un environnement physique approprié (humidité et aération suffisantes) et s'il peut compter sur une bonne réserve de matériel végétal décomposable. La rotation culturale, la culture de couverture et le contre-ensemencement au moyen de légumineuses sont des pratiques, parmi d'autres, qui assurent une abondance de nourriture à une grande diversité d'organismes du sol. Le labour de conservation aide également à améliorer la biodiversité de la communauté en se servant des résidus de plantes pour protéger la surface du sol et réduire au minimum les changements dans la structure des sols.

(R.P. Voroney, Université de Guelph, Guelph, Ont., et E.G. Gregorich, AAC, Ottawa, Ont.)

Surveillance de la matière organique du sol

Avant l'implantation en 1989, par Agriculture Canada, du programme de

Influence de la matière organique sur la structure du sol

La matière organique du sol joue un rôle névralgique dans la formation des agrégats du sol. Telle une colle, la polysaccharide contenue dans la matière organique agglomère les particules du sol en agrégats stables. Les sols aux agrégats très stables sont plus résistants à la dégradation par érosion et au compactage.

Quand la teneur en argile du sol augmente, celui-ci a besoin d'une plus forte concentration de matière organique pour maintenir une certaine capacité de formation et un certain niveau de stabilité des agrégats. Par exemple, un niveau de stabilité maximum a été associé aux concentrations suivantes d'argile et de matière organique dans certains sols qui renferment des minéraux argileux de type similaire :

Teneur en argile (%)	10	20	40	50
Teneur en matière organique (%)	3	4	7	9

(M.R. Carter, AAC, Charlottetown, Î.-P.-É., et D.A. Angers, AAC, Sainte-Foy, Qc.)

lieux repères pour la surveillance de la qualité du sol (voir le chapitre 4), il n'existait aucun système national permettant de vérifier l'état de la matière organique du sol. Ce programme, qui a fourni des données de base sur la matière organique du sol de 23 lieux repères disséminés un peu partout au pays, vise à produire des données comparatives couvrant dix années.

Malgré l'absence de données exhaustives sur la matière organique des sols pour l'ensemble du Canada, l'information dont on dispose actuellement sur certaines régions du pays permet de dégager certaines tendances générales quant aux effets de l'utilisation des terres et des pratiques agricoles. En effet, il appert qu'une meilleure gestion a permis de maintenir ou d'accroître la teneur en matière organique de nombreuses terres cultivées au Canada. Par exemple, des expériences culturales à long terme menées dans les Prairies révèlent que la matière organique des sols y a atteint un «état de stabilité»; autrement dit, la quantité de matière organique tirée du sol sous forme de récoltes y est reconstituée par l'ajout de résidus de culture, de fumier et d'engrais commerciaux. Citons également le cas de l'Île-du-Prince-Édouard, où l'introduction de rotations culturales plus longues — comprenant notamment des plantes fourragères enfouies dans le sol par le labour — a contribué à accroître la teneur en matière organique de nombreux champs de pommes de terre sur une période de 10 ans.

Facteurs qui modifient la matière organique du sol

Travail du sol

Le travail de conservation du sol est une méthode conçue pour laisser en surface la plupart des résidus de culture, qui protègent le sol contre l'érosion et réduisent les pertes d'eau imputables au ruissellement et à l'évaporation. Ce type de travail du sol concentre la matière organique à la surface du sol, puisque les résidus de culture ne sont pas mélangés au sol.

Selon une étude menée en Ontario, un sol cultivé *sans labour* est plus riche en matière organique à la surface et sur tout son profil qu'un sol travaillé classiquement avec une charrue à socs (tableau 5-1). Une autre étude, réalisée dans le sud-ouest de la Saskatchewan, a porté sur l'évolution de la matière organique d'un terrain labouré d'une façon classique sous un régime de rotation jachère-blé avec fertilisation

Tableau 5-1 Matière organique à deux profondeurs après 18 ans de différents labours sur sol ontarien planté en maïs

Régime de travail	Matière organique du sol (tonnes/hectare) 0-15 cm	15-30 cm	0-30 cm
Sans labour	86	65	151
Charrue ciseau	73	52	125
Charrue à disques	74	58	133
Charrue à socs	66	64	130

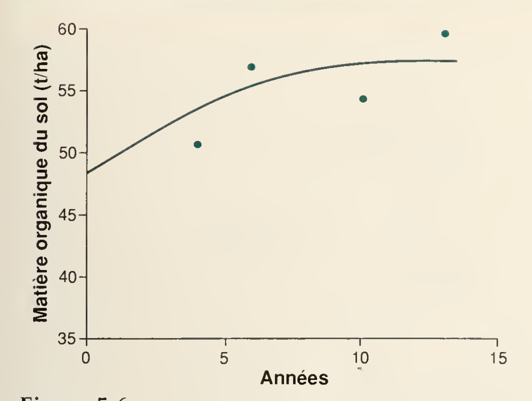


Figure 5-6
Effets d'une culture sans labour sur la matière organique du sol.
Modification des concentrations de matière organique dans les 15 cm supérieurs du sol lorsqu'un sol travaillé d'une façon classique sous une rotation jachère-blé est converti à la culture continue du blé sans labour.

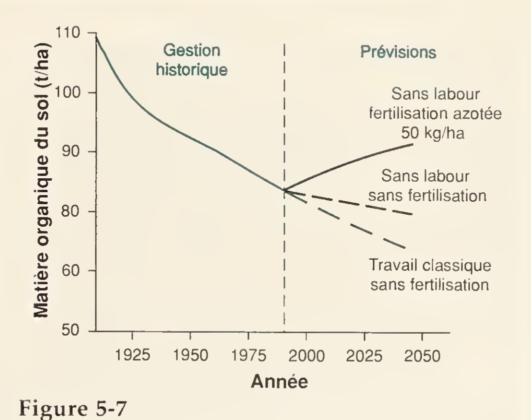


Figure 5-7
Teneurs en matière organique sous trois régimes.
Prévisions informatisées de la teneur en matière organique des 30 cm supérieurs d'un sol des Prairies cultivé sans labour avec et sans fertilisation, et travaillé d'une façon classique sans fertilisation.

minimale durant 70 à 80 ans, et ensuite converti à un régime d'ensemencement annuel en blé au moyen d'un travail de conservation avec fertilisation. La teneur en matière organique du sol a régulièrement augmenté durant la période de travail de conservation, mais semble approcher un état de stabilité (fig. 5-6).

Au Canada, la quantité totale et le rythme d'augmentation de la matière organique du sol varient selon le sol, le climat et le système agricole. Cependant, les systèmes fondés sur le travail de conservation avec fertilisation contribuent à préserver la matière organique de tous les sols agricoles.

À l'aide d'un modèle de simulation informatisée, nous avons prévu l'évolution de la teneur en matière organique de la couche supérieure de 15 cm d'un sol vierge soumis à 50 années de *travail classique*, de culture sans labour ou de culture sans labour avec fertilisation azotée à raison de 50 kg/ha par année. Les résultats indiquent que la matière organique continuerait de diminuer jusqu'à un quelconque état de stabilité sous un régime de travail classique sans fertilisation, et qu'elle baisserait plus lentement sous un régime de culture sans labour et sans fertilisation. Par contraste, une culture sans labour avec fertilisation appropriée ferait substantiellement grimper les concentrations par rapport aux valeurs actuelles (fig. 5-7).

Rotations culturales

La rotation culturale influe sur la matière organique du sol. Les plantes fourragères et les légumineuses possèdent d'importants systèmes racinaires qui, en mourant, laissent dans le sol de grandes quantités de matière organique. Dans les régions semi-arides de l'Ouest canadien, on a introduit des périodes de jachère dans les rotations afin de conserver l'humidité pour la récolte subséquente. Cependant, la mise en jachère (spécialement sous un régime de travail classique) expose le sol à l'érosion, ce qui gaspille sa matière organique et crée des conditions d'humidité et de température qui accélèrent le rythme de décomposition de la matière organique.

Des études menées dans les Prairies ont montré que les sols annuellement ensemencés en blé, surtout lorsqu'il y a fertilisation, conservent mieux leur matière organique que les sols sous rotation avec mise en jachère (fig 5-8). Cette amélioration est attribuable aux facteurs suivants :

- davantage de résidus de culture retournent au sol chaque année
- le sol est protégé contre l'érosion

Pour enrichir la terre, j'ai semé du trèfle et de l'herbe, qui pousseront et mourront. En labourant, j'ai enfoui dans le sol les graines des céréales d'hiver et de diverses légumineuses, dont la croissance sera, elle aussi, retournée à la terre. En mêlant au sol les résidus et la décomposition de la croissance des saisons passées, j'ai amendé la terre et augmenté son rendement.

Wendell Berry
Enriching the Earth

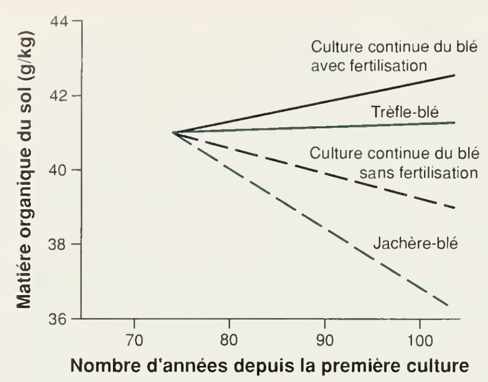


Figure 5-8
Teneurs en matière organique des Prairies sous différentes rotations culturales (d'après Campbell et coll., 1979).

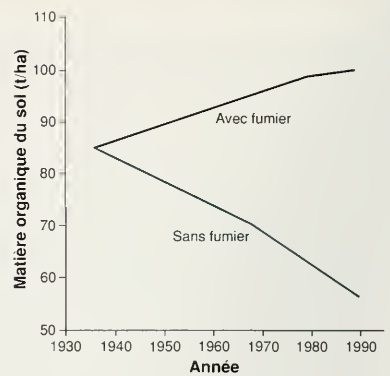
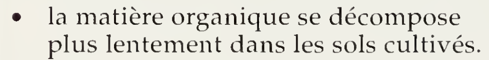


Figure 5-9
Modification de la matière organique du sol sur une période de 50 ans, avec et sans fumure.



- la matière organique se décompose plus lentement dans les sols cultivés.

Une étude à long terme sur la culture du maïs en Ontario a révélé les avantages de la fertilisation pour la teneur en matière organique du sol et le rendement des récoltes, spécialement dans un scénario de rotation culturale (tableau 5-2). Le recours aux plantes fourragères dans les rotations culturales donne de bons résultats en Ontario et au Québec, où l'élevage du bétail est une importante industrie, mais ne s'avère pas aussi profitable dans les régions où il se fait peu d'élevage.

Amendement des sols

Hormis les résidus de culture, la matière organique ajoutée au sol comprend le compost, le fumier, les boues d'égout, les copeaux de bois et la tourbe. Dans une étude à long terme réalisée en Alberta, l'épandage de fumier sur une période de 50 ans s'est traduit par un accroissement constant de la teneur en matière organique du sol. Les sols non fumés durant la même période ont vu décliner leur taux de matière organique (fig. 5-9). Une étude sur place réalisée en Ontario a révélé que la fumure contribue à prévenir la perte de matière organique sur les sols gravement érodés en favorisant la formation d'agrégats résistant à l'érosion.

Érosion

L'érosion détache sélectivement et transporte les particules du sol les plus riches en matière organique. La teneur en matière organique d'un sol cultivé diminue au fil des ans (fig. 5-10). S'il n'y a pas d'érosion, la concentration de matière organique décline rapidement et se stabilise à environ 80 % de la valeur initiale (soit une perte d'environ 20 %). En cas de forte érosion, elle peut chuter beaucoup plus rapidement et, même après 70 années de culture, ne pas se stabiliser.

Tableau 5-2 Matière organique dans les 20 cm supérieurs de sols continuellement plantés en maïs sous un régime de rotation du maïs (maïs-avoines-foin-foin), avec et sans fertilisation, durant 31 ans, dans le sud-ouest de l'Ontario

Culture	Matière organique du sol (tonnes/hectare)	Rendement en grains (tonnes/hectare)
Culture continue du maïs		
avec fertilisation	97	6,0
sans fertilisation	88	1,6
Rotation culturale du maïs		
avec fertilisation	112	7,8
sans fertilisation	88	4,6

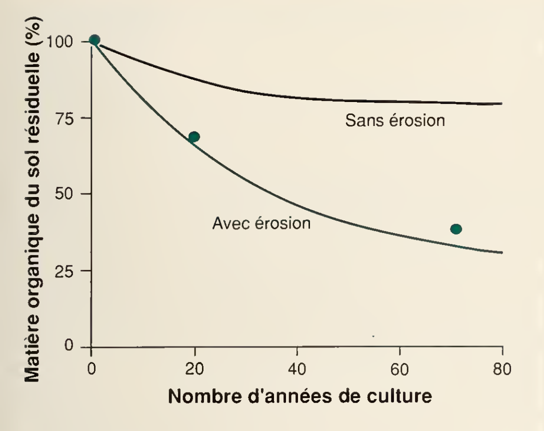


Figure 5-10
Effets de l'érosion sur la matière organique du sol.
Effets simulés et observés (●) de l'érosion sur la teneur en matière organique du sol à une profondeur de 30 cm, sur une période de 70 ans.

La surveillance de la qualité des sols sur deux lieux repères du Nouveau-Brunswick où est pratiquée la culture intensive de la pomme de terre (selon une rotation pomme de terre-pomme de terre-céréale) prouve l'importance de recourir à des pratiques agricoles axées sur la conservation pour maîtriser l'érosion et préserver la matière organique du sol. Un site est cultivé en pente, et l'autre selon un régime de conservation (en courbes de niveau, avec *déclivité variable* et une voie d'eau enherbée). Sur le site cultivé en courbes de niveau, les pertes de matière organique atteignaient moins de 10 % de celles observées sur le site cultivé en pente. Après 3 ans, le site cultivé en pente était sensiblement moins riche en matière organique que celui assujetti à un régime de conservation du sol (voir fig. 4-5 au chapitre 4).

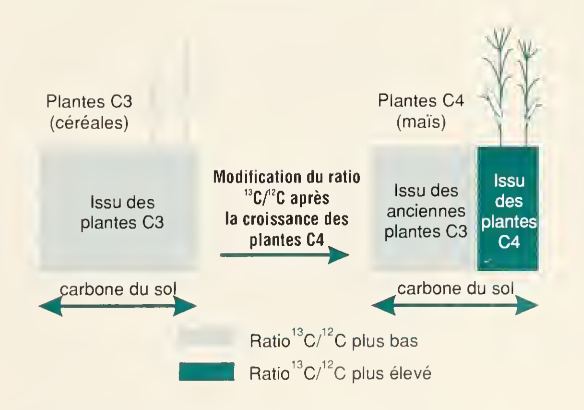
Les sols fortement érodables profitent de méthodes culturales de conservation qui perturbent au minimum le sol. Le régime le moins perturbateur est la culture sans labour (semis direct), laquelle laisse à la surface du sol des résidus de culture qui protègent ce dernier contre l'érosion causée par le vent, la pluie et le ruissellement de la neige fondue.

Différences atomiques dans le carbone

La plus abondante forme de carbone dans la nature possède 12 nucléons (^{12}C), mais certains atomes de carbone sont plus lourds car ils en ont 13 (^{13}C). Parmi les substances carbonées, le ratio entre ces deux formes de carbone varie légèrement. Les géologues utilisent les différences de ratio $^{13}C/^{12}C$ dans les sédiments et dans les cernes de croissance des arbres pour déterminer les modifications préhistoriques subies par le paysage et le climat. Les différences atomiques servent également à suivre le flux du carbone, depuis les plantes vers les animaux brouteurs et les carnivores.

En 1970, des chercheurs ont découvert que les végétaux se répartissent en deux grandes catégories, selon le cheminement chimique par lequel ils absorbent le dioxyde de carbone durant la photosynthèse. Le groupe le plus commun contient les végétaux au ratio $^{13}C/^{12}C$ relativement faible, comme les céréales et la majorité des arbres. Les plantes C4, dont le maïs, la canne à sucre et le chénopode blanc, opèrent une photosynthèse très efficace et présentent des ratios $^{13}C/^{12}C$ supérieurs.

La différence des ratios de carbone dans les plantes C3 et C4 peut servir à suivre le flux du carbone entre les plantes et le sol, puisque la matière organique du sol possède des ratios de carbone très semblables à ceux du matériel végétal ajouté au sol. Le remplacement de plantes C3 (comme les herbes naturelles et les céréales) par des plantes C4 (comme le maïs) fait augmenter les ratios $^{13}C/^{12}C$ de la matière organique du sol.



Dans une étude effectuée en Alberta, les ratios de carbone ont servi à distinguer le carbone dérivé du maïs du carbone qui était présent dans le sol avant qu'on y cultive le maïs. On a constaté que 15 % du carbone du sol provenait des tissus du maïs et qu'une proportion persistante de 85 % était issue de plantes C3 précédemment cultivées, et qu'une partie de la matière organique originale du sol se décomposait rapidement et était remplacée par des résidus de maïs. Ce type d'information sur les quantités relatives de matière organique décomposable et persistante dans le sol aide à choisir des régimes de gestion agricole favorables à la production de matière organique et de cultures.

(B.H. Ellert, AAC, Lethbridge, Alb.)

Contre-ensemencer pour accroître l'apport de matière organique

L'orge constitue actuellement la principale céréale alternée avec la pomme de terre au Nouveau-Brunswick. Le contre-ensemencement (compagnonnage) d'herbes ou de légumineuses avec la pomme de terre gagne constamment en popularité, étant pratiqué dans plus de 80 % des champs contre-ensemencés en 1992 sous rotation culturale pomme de terre-céréale.

Après avoir récolté la céréale en août, on laisse pousser l'herbe ou la légumineuse contre-ensemencée jusqu'à ce qu'elle succombe aux rigueurs du climat. En contre-ensemençant l'orge de ray-grass Lemtal, on a accru de plus de 90 % les apports organiques dans le sol; l'année de production céréalière s'est ainsi soldée, au chapitre de l'humification, par un excédent plutôt que par un déficit potentiel.

(H.W Walker, AAC, Fredericton, N.-B et D.F. Walker

Ministère de l'Agriculture du Nouveau-Brunswick)

Le processus commence par la décomposition des racines et la dégradation des résidus aériens, puis les éléments nutritifs ainsi libérés amorcent leur descente vers les catacombes du sol pour y recommencer le cycle.

Wes Jackson
Altars of Unhewn Stone

érodables profitent de méthodes culturales de conservation qui perturbent au minimum le sol. Le régime le moins perturbateur est la culture sans labour (semis direct), laquelle laisse à la surface du sol des résidus de culture qui protègent ce dernier contre l'érosion causée par le vent, la pluie et le ruissellement de la neige fondue.

Conclusions

La matière organique est essentielle pour conserver au sol sa capacité de produire des récoltes d'une façon économique et de résister à la dégradation. Le Canada a maintenant institué une surveillance systématique de la teneur en matière organique des sols. Grâce aux nombreuses recherches effectuées depuis deux décennies, nous comprenons bien les effets des pratiques d'utilisation et de gestion des terres sur les divers types de matière organique et leurs concentrations.

Bien que les sols aient perdu une partie de leur matière organique depuis leur conversion à des fins agricoles, la perte est loin d'être aussi grave qu'on le croyait au début des années 1980. Des recherches nous indiquent que certaines pratiques agricoles stabilisent et peuvent même hausser la teneur en matière organique du sol, en y augmentant les apports de matière organique et en freinant les pertes.

Depuis les années 1980, divers programmes gouvernementaux incitent les agriculteurs à adopter des pratiques agricoles qui favorisent la conservation. Voici quelques exemples de pratiques qui accroissent l'apport de matière organique dans le sol :

- maintenir un *couvert végétal permanent*
- cultiver des végétaux qui produisent beaucoup de matière organique (comme les plantes aux grandes racines fibreuses)
- inclure les plantes légumineuses et fourragères dans les rotations culturales
- ajouter au sol du fumier et d'autres amendements organiques
- préserver la robustesse et la productivité de la culture en la fertilisant d'une façon appropriée.

Quant aux pratiques qui réduisent les pertes de matière organique, elles comprennent le travail de conservation, la gestion des résidus de culture et la lutte contre l'érosion (culture en *courbes de niveau*, contre-ensemencement, enherbement des voies d'eau, culture en terrasses, *culture en bande alternante*, création de *brise-vent*, construction d'ouvrages anti-érosion, etc.). Le choix du système agricole doit tenir compte des particularités de l'endroit et du sol.



Modification de la structure du sol

G.C. Topp, K.C. Wires, D.A. Angers, M.R. Carter, J.L.B. Culley, D.A. Holmstrom, B.D. Kay, G.P. Lafond, D.R. Langille, D.W. Lobb, R.A. McBride, G.T. Patterson, E. Perfect, V. Rasiah, W.D. Reynolds, A.V. Rodd, K.T. Webb

Points saillants

- L'affaiblissement des agrégats et le compactage du sol sont les formes les plus courantes de dégradation de la structure des sols agricoles au Canada.
- La dégradation de la structure du sol nuit à la levée des semis, limite la pénétration et le mouvement de l'air et de l'eau dans le profil du sol, augmente les risques d'érosion et réduit le rendement des cultures.
- La dégradation structurale menace particulièrement les sols à texture fine, humides, pauvres en matière organique ou érodés; elle est favorisée par le travail intensif du sol, la culture en rang et une rotation culturale insuffisante.
- Selon une étude fondée sur la méthode de la répartition non limitative d'eau, le problème de dégradation structurale des sols est moins aigu dans les Prairies que dans l'Est canadien.
- Les méthodes suivantes améliorent la structure des sols : travail de conservation, rotations culturales avec plantes fourragères, bonne gestion des résidus de culture, culture continue (réduction de la mise en jachère), pratiques antiérosives (cultures de couverture, contre-ensemencement, culture en courbes de niveau, culture en terrasses, voies d'eau gazonnées) et installation de réseaux de drainage souterrains.

Introduction

On peut penser à la structure du sol en termes d'«architecture» et de «stabilité». Dans un bâtiment, ce sont la dimension, la forme et la disposition des pièces qui déterminent la vocation du bâtiment et son comportement dans des conditions adverses (ex. surcharge de neige ou tremblement de terre). Il en est de même pour le sol; en effet, sa qualité dépend en grande partie de la taille, de la forme et de la disposition des pores (vides) et des particules solides (mottes de sable, de limon et d'argile).

Dans le sol, la matière organique est le principal liant dans la formation de mottes ou d'*agrégats* par les particules de sable, de limon et d'argile. La matière organique et d'autres agents liants stabilisent l'agencement des pores et des particules. Dans un sol bien structuré, l'air, l'eau et les éléments nutritifs peuvent traverser les vides contenus dans les agrégats et entre ceux-ci. En outre, l'assemblage des particules solides et des pores résiste bien aux diverses agressions (travail cultural, moisson, impact des gouttes de pluie, etc.).

La terre assoiffée
s'imbibe de pluie
Et boit, et bée
encore pour boire
Les plantes aspirent
la terre et
conservent
leur fraîcheur et
leur beauté en
buvant
constamment.

Abraham Cowley
Drinking

Formation et effets de la structure du sol

La structure du sol évolue lentement sous l'action de processus naturels tels que les cycles d'humectation-séchage et de gel-dégel, et de l'apport de matière organique (résidus végétaux et animaux). La préservation d'une bonne structure est essentielle au maintien de la productivité agricole à long terme. Cependant, la qualité structurale est une notion difficile à définir et à mesurer.

Pour qu'un sol ait une bonne structure, l'état et la stabilité de ses agrégats ne doivent pas limiter le potentiel de rendement d'une culture, les racines doivent pouvoir se développer et s'enfoncer dans le sol de façon optimale; il doit aussi être suffisamment stable pour résister aux facteurs susceptibles de le dégrader. La structure du sol détermine la croissance et le rendement des cultures en influençant de nombreux processus qui se déroulent dans le sol et le paysage, notamment :

- le stockage de l'eau et des éléments nutritifs dans le sol et leur assimilation par les végétaux
- le mouvement de l'eau et des éléments nutritifs dans le profil du sol durant l'infiltration, le drainage et le lessivage
- l'aération pour les racines et les microbes du sol
- la résistance du sol à l'érosion éolienne et hydrique
- la résistance du sol au compactage et à l'encroûtement.

Dégradation de la structure du sol

Il est difficile de détecter et de mesurer la dégradation d'un sol, vu les liens étroits qui existent entre sa structure et divers facteurs comme l'écoulement de l'eau et l'aération du sol. L'affaiblissement des agrégats et le compactage du sol sont les formes de dégradation structurale les plus courantes (fig. 6-1).

Les sols aux agrégats faibles et instables sont les plus vulnérables à une altération structurale rapide. Un sol instable peut sembler posséder une bonne structure, mais ses agrégats risquent de se décomposer facilement sous l'action de la pluie et/ou du travail cultural. La décomposition des agrégats à la surface des sols à texture fine peut entraîner la formation d'une croûte superficielle dure, qui peut empêcher la levée des semis et bloquer les *pores* de grande taille, limitant ainsi la pénétration de l'eau et de l'air dans le sol.

Le compactage résulte d'une compression des particules du sol, qui réduit l'espace interstitiel (et accroît la densité apparente du sol). Il peut avoir de nombreuses causes, la principale étant le passage

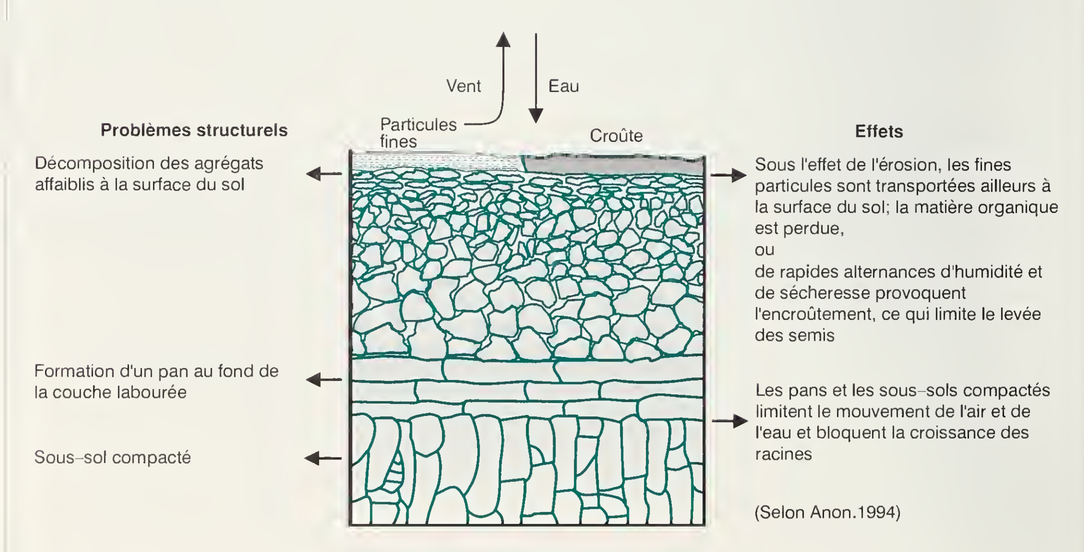


Figure 6-1 Problèmes structuraux dans le profil du sol et effets de la dégradation

répété de machinerie lourde sur un sol humide durant les opérations de labour et de moisson. Les sols à texture fine (argileux et limoneux) des climats humides sont les plus vulnérables au compactage. Le risque est accru par la pratique de la culture en rangs (maïs, soya, pomme de terre, légumes), où d'intenses opérations de labour et de récolte se déroulent souvent sur un sol humide.

La réduction de la stabilité structurale entraîne généralement une baisse du rendement des cultures, en raison de ses effets sur de nombreux facteurs de croissance. Par exemple :

- la levée d'un moins grand nombre de semis réduit le couvert végétal
- la disparition de grands pores diminue l'oxygénation des racines des végétaux, lesquelles voient leur croissance limitée et deviennent plus vulnérables aux maladies
- l'infiltration réduite de l'eau dans le sol limite la réserve d'eau disponible pour les végétaux.

L'altération de la structure du sol augmente également les risques d'érosion. Les fines particules issues de la décomposition des agrégats dans la couche superficielle risquent particulièrement d'être emportées (érosion) par le vent et les eaux de ruissellement de surface. En outre, comme un sol compacté absorbe moins d'eau, le ruissellement de surface augmente et aggrave les effets de l'érosion. Un sol déjà dégradé est susceptible de se dégrader encore plus rapidement (fig. 6-2).

Problèmes actuels de dégradation structurale

Compactage

Selon une étude réalisée en 1986 par le Conseil des sciences du Canada, le compactage du sol réduit de 10 % le rendement des cultures au Canada et coûte plus de 130 millions de dollars chaque année aux producteurs. Les pertes estimées sont les plus élevées au Québec, où 20 % des terres sous *monoculture en rangs* (culture continue d'un seul type de culture en rang) sont compactées. Le problème est particulièrement aigu dans les basses terres du Saint-Laurent, une région fertile et productive.

Le compactage touche également d'autres régions du pays. Pour diverses raisons (pluviosité assez forte, nappe phréatique élevée, cultures intensives en rangs), il est très répandu dans les sols à texture fine ou moyenne de la vallée du Fraser en Colombie-Britannique.

Dans le sud-ouest de l'Ontario, 50 à 70 % des sols argileux ont été touchés par le compactage : les trois quarts sont considérés comme moyennement compactés, et le quart comme très compactés. Lors d'une enquête récente, les producteurs ontariens de maïs ont indiqué que le compactage du sol constituait le plus grave problème de conservation du sol et de l'eau.

Dans les provinces de l'Atlantique, la présence de sous-sols naturellement compactés et de *cuirasses* (couches de sol durci à porosité très réduite) vient

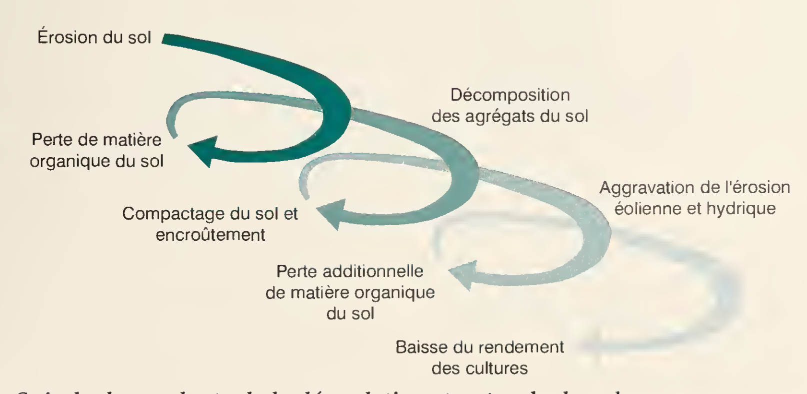


Figure 6-2 Spirale descendante de la dégradation structurale du sol

Essai de non-labour en Ontario

Depuis 9 ans, le non-labour nous donne constamment de meilleures récoltes de maïs et de soya, tant sur un loam sableux Brady que sur un loam argileux Huron. Bien que la réserve d'eau du sol Brady soit d'au moins 40 % plus abondante, le sol Huron produit des récoltes comparables, probablement en raison de différences que j'ai remarquées dans l'enracinement du maïs dans les sols non travaillés.

Dans les sols travaillés de façon classique, les racines du maïs s'enfoncent jusqu'à la *semelle* de labour, puis latéralement jusqu'aux lignes de fracture causées par l'équipement aratoire; ensuite, elles suivent ces fractures vers le bas à la recherche d'eau. Dans le sol non travaillé, les racines semblent suivre plus fréquemment les macropores, ce qui leur donne une répartition plus générale dans le sol. Se pourrait-il que le compactage du sol travaillé classiquement limite davantage les rendements que la quantité d'eau facilement assimilable dans le sol non travaillé?

En général, nous constatons que le sol travaillé se fissure davantage par temps sec que le sol non travaillé. Avec le temps, toutefois, le sol non travaillé acquiert une plus grande macroporosité. Le sol non travaillé est toujours plus humide que le sol travaillé. Même là, nous avons constaté que le sol non travaillé a une plus grande portance (la formation d'ornières est moins prononcée à l'époque des semis et des moissons).

Selon nos données, le sol non travaillé a donné des rendements moyens d'environ 15 % plus élevés que le sol travaillé de façon classique. L'avantage était à peu près le même pour le maïs et le soya. Par ailleurs, les vers de terre sont plus actifs dans les sols non travaillés, signe que le non-labour profite également à l'édafaune.

(Don Lobb, producteur, Clinton, Ont.)

Continuellement frappées par les dents et les lames de métal, les mottes de sol perdent les liens faibles des agrégats, et le sol devient farineux et poussiéreux.

Hans Jenny
Meeting the Expectations of the Land

s'ajouter au compactage résultant d'activités agricoles en sol humide. Dans cette région, près du tiers des bonnes terres agricoles sont mal structurées. Ce problème est commun en Nouvelle-Écosse, notamment le long du détroit du Northumberland et dans le centre de la province, ainsi que dans la plus grande partie du Nouveau-Brunswick.

Quant aux provinces des Prairies, le compactage n'y représente pas un problème important. (L'étude du Conseil des sciences ne précise pas les pertes estimées pour cette région.)

Affaiblissement des agrégats

L'affaiblissement des agrégats produit des effets comparables à ceux du compactage. Bien qu'il soit largement reconnu comme étant un problème de dégradation structurale du sol, ses effets sont toutefois plus difficiles à évaluer. Il n'est pas encore possible de procéder à des estimations distinctes pour ces deux types de dégradation.

Évaluation de la qualité structurale du sol

Colombie-Britannique

En raison de la très grande humidité qui règne dans la vallée du Fraser, de nombreux sols sont vulnérables au compactage. Cependant, les recherches n'ont pas encore permis de confirmer que le compactage représente un grave problème, comme le soutiennent les agriculteurs. La culture de plantes fourragères produisant souvent cinq récoltes en une saison est probablement la principale cause de ce phénomène; en effet, il y a une intense circulation de la machinerie agricole durant toute la longue saison de croissance et ce, souvent lorsque le sol est humide. On estime également que la production maraîchère, notamment la culture des carottes et des pommes de terre, est à l'origine du compactage.

Une des principales méthodes de réduction du compactage consiste à semer une culture de couverture après avoir récolté la culture principale. Ainsi, on peut récolter une culture fourragère et l'enfouir dans le sol avant de semer la culture principale de l'année suivante.

Provinces des Prairies

Dans la zone des sols noirs des Prairies, des différences dans la teneur en matière organique et le degré d'humidité du sol ont engendré des conditions naturelles optimales pour la structure des sols et leur stabilité. La zone des *sols bruns* du sud des Prairies, avec ses températures plus fraîches et ses déficits hydriques, présente une structure moins avantageuse. Les pertes de matière organique occasionnées par le développement de l'agriculture depuis la fin du XIX[e] siècle se sont soldées par une détérioration de ces structures pédologiques naturelles. Cependant, on ne croit généralement pas qu'un problème de dégradation structurale suffise à limiter le potentiel agricole des Prairies.

Sous le climat semi-aride des Prairies, la majorité des opérations de culture et

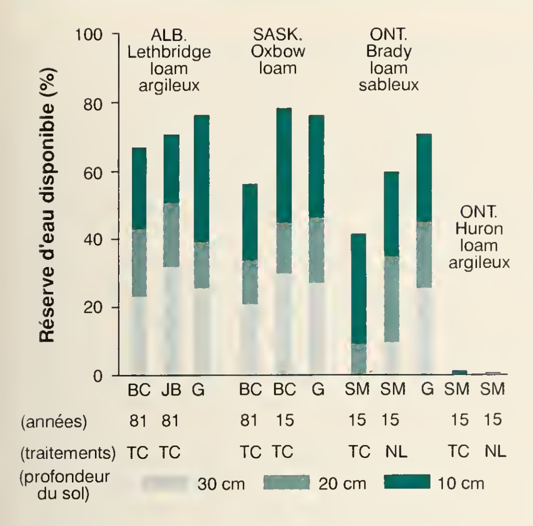


Figure 6-3
Capacité du sol d'approvisionner les plantes en eau (selon la méthode de la répartition non limitative de l'eau)
Légende : BC = blé continu; JB = jachère-blé; G = graminées; SM = soya-maïs; TC = travail classique; NL = non-labour.

d'ensemencement se déroulent quand le sol est suffisamment sec pour ne pas être compacté par le matériel agricole, sauf pour certains sols mal drainés à texture fine. La mise en jachère, qui permet de conserver l'humidité du sol dans les secteurs les plus secs, accroît le risque de perte de sol, de salinisation et de dégradation structurale. Même si des études réalisées dans le centre-est de la Saskatchewan ont révélé que les régimes avec jachère donnent des rendements de 12 % supérieurs à ceux des régimes de culture continue, il s'agit là d'un faible avantage à court terme comparativement aux dommages à long terme que la jachère cause au sol. Depuis 20 ans, le travail de conservation du sol a considérablement diminué la superficie de terres cultivées mises en jachère (*voir* la fig. 8-7), mais il faut continuer de déployer des efforts à cette fin.

Des études de la structure du sol basées sur la mesure de la quantité d'eau disponible dans le sol pour les végétaux — la méthode de la *répartition non limitative de l'eau* — ont confirmé que la structure des sols des Prairies est moins dégradée que celle des sols de l'Ontario (fig. 6-3). Tous les sols des Prairies visés par cette étude avaient le potentiel de fournir aux cultures au moins 55 % de l'eau disponible, alors que les proportions sont beaucoup plus faibles pour les sols ontariens. Soumis à des rotations continues de blé et jachère–blé, le loam argileux en Alberta possédait un potentiel d'approvisionnement en eau disponible semblable à celui des sols sous gazon. Cependant, les sols sous gazon en général possèdent un potentiel d'approvisionnement en eau disponible plus important dans la couche supérieure (10 cm) que les sols labourés d'une façon classique au cours d'une période de 81 ans.

Ontario

Le degré de compactage des sols agricoles ontariens a été peu mesuré. Cependant, la majorité des sols à texture fine ou moyenne et la totalité des sols bas du sud de la province sont caractérisés par un drainage endoréique imparfait à médiocre qui les rend vulnérables au compactage pendant les opérations culturales. L'abondance relative des précipitations et la fraîcheur des températures du sol contribuent à humecter les sols durant le labour et les semis printaniers. En automne, les précipitations rendent souvent les sols humides durant la période des moissons, particulièrement dans la récolte du maïs. Dans la majorité des terrains loameux et argileux du sud de l'Ontario, on recourt aux drains souterrains pour ramener l'humidité du sol à un niveau acceptable.

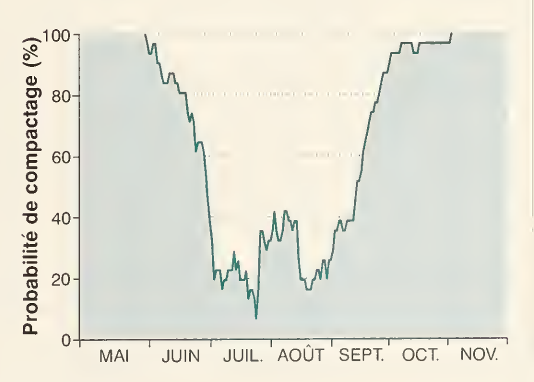


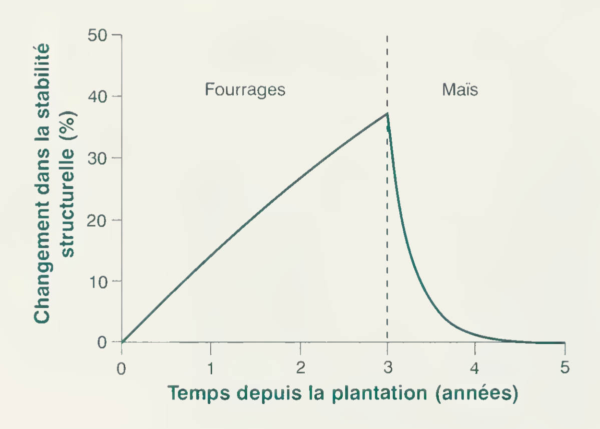
Figure 6-4
Risques saisonniers de compactage du sol à une profondeur de 12,5 cm
Le risque de compactage par la machinerie agricole culmine quand le sol est humide. Idéalement, on ne devrait employer la machinerie que durant les périodes où le risque de compactage est faible (juillet et août).

Reconstitution de la structure d'un sol ensemencé en maïs

Il est possible de prévoir l'intervalle de temps nécessaire à la reconstitution optimale d'un sol par une pratique culturale ou une rotation culturale donnée si l'on connaît la vitesse à laquelle la structure du sol évolue. Une façon de mesurer cette vitesse consiste à déterminer la *demi-vie* de la structure du sol. En ce qui a trait à l'amélioration structurale, la demi-vie équivaut au temps nécessaire pour qu'une façon ou une pratique culturale améliore la structure entre le niveau d'origine et le niveau optimal. Pour ce qui est de la dégradation structurale, la demi-vie correspond au temps nécessaire pour qu'une façon ou une pratique culturale diminue la qualité structurale du sol entre le niveau d'origine et le niveau minimal.

Selon des études réalisées dans le sud-ouest de l'Ontario, la demi-vie moyenne pour l'amélioration structurale d'un sol sous culture fourragère est de 4,5 ans, tandis que la demi-vie moyenne pour la dégradation structurale d'un sol ensemencé de maïs et travaillé de façon classique est de 0,2 année. Comme le rythme d'amélioration de la stabilité structurale est de loin inférieur au rythme de dégradation, l'amélioration obtenue par 3 années de cultures fourragères sur un loam limoneux disparaît en grande partie dans les quelques mois suivant le retour à une culture du maïs sous travail classique.

On voit donc que sous un régime de travail classique, la rotation culturale du maïs avec des espèces fourragères n'améliore pas nécessairement la structure du sol. On doit donc étudier les façons ou les pratiques culturales qui améliorent ou préservent de façon plus permanente la structure du sol, comme la culture de plantes fourragères suivie d'une culture du maïs sans travail du sol.



Stabilité structurelle des sols sur lesquels on cultive des fourrages et du maïs.

(B.D. Kay, E. Perfect et V. Rasiah, Université de Guelph, Guelph, Ont.)

Des études de compression du sol indiquent que la *friabilité* et la capacité portante du sol culminent quand la teneur en eau est égale ou inférieure à la *limite de plasticité* (teneur en eau à partir de laquelle le sol perd sa plasticité et commence à se désagréger). Il faudrait limiter à ces périodes la circulation dans les champs et le travail cultural (fig. 6-4).

Dans une étude sur les secteurs du sud-ouest ontarien vulnérables au compactage causé par la circulation dans les champs et le travail cultural, on a constaté que les sols à texture moyenne (loameux) et au drainage imparfait à médiocre couraient le plus grand risque de compactage. Souvent, les sols à texture fine étaient, au départ, compactés (probablement sous l'action de processus naturels comme des cycles de séchage intense et la pression exercée par les glaces) à un point tel que la culture du maïs n'entraînait aucun compactage supplémentaire.

Le travail classique du sol entraîne souvent une détérioration structurale, notamment dans la monoculture du maïs et les autres cultures en rangs. À Clinton (Ontario), des études sur la structure des sols faites selon la méthode de la répartition non limitative de l'eau ont révélé qu'un loam sableux sous rotation maïs-soya pouvait fournir aux plantes au moins 40 % de l'eau disponible; l'application d'un régime de non-labour sous couvert herbacé augmentait ce potentiel de 20 à 30 % par rapport au travail classique (fig. 6-3). En raison d'un compactage du sous-sol, le sol travaillé classiquement était pratiquement incapable d'approvisionner les plantes en eau à une profondeur de 30 cm, et son potentiel demeurait relativement faible à 20 cm. À ce même endroit, la dégradation

Tableau 6-1
Temps requis pour améliorer la structure des sols ensemencés de plantes fourragères dans le sud de l'Ontario

Structure du sol	Temps requis (années)
Sable loameux	7-9
Loam limoneux	4-6
Argile	3-5

structurale du loam argileux était telle que même le non-labour ne parvenait pas à améliorer le potentiel d'approvisionnement en eau disponible, mais les racines poussaient surtout dans les fissures du sol et les macropores (*voir* l'encadré à la p. 56).

Une autre étude a révélé que l'inclusion d'espèces fourragères dans la rotation culturale du maïs pouvait améliorer la structure du sol. Cependant, dans un régime de travail classique, l'amélioration structurale résultant de la culture fourragère disparaît rapidement dès qu'on réensemence du maïs (*voir* l'encadré sur cette page). Le temps nécessaire à l'amélioration structurale sous culture fourragère est inversement proportionnel à la teneur en argile du sol (tableau 6-1). Il semble donc que les sols argileux réagissent mieux que les sols à texture plus grossière aux pratiques de culture et de récolte axées sur la conservation, et que leur qualité s'accroît plus rapidement.

Québec

Dans les basses terres du Saint-Laurent, de nombreux sols sont mal drainés et sont souvent ensemencés en maïs durant de nombreuses années consécutives. Fréquemment, le sol est travaillé tôt au printemps et tard en automne, quand les conditions d'humidité le rendent particulièrement vulnérable au compactage par la machinerie agricole. Plus de 80 % des sols sous monoculture annuelle dans cette région sont structuralement dégradés; environ 20 % d'entre eux sont compactés.

Un relevé effectué en 1990 a montré que les sols argileux cultivés présentaient une densité apparente plus élevée que les sols sous couvert herbacé, et deux études indépendantes ont estimé que le compactage du sol réduisait de 10 % le rendement du maïs et de 25 % celui du foin. Les sols à texture légère que l'on ensemence continuellement en pommes de terre ou en céréales sont eux aussi susceptibles à la dégradation structurale et à l'encroûtement.

Combiné à des rotations culturales appropriées et à l'apport de matière organique, le travail de conservation accroît les concentrations de matière organique dans la couche superficielle et améliore la structure du sol. Par exemple, l'épandage de fumier tous les 2 ans sur un sol mal structuré et ensemencé en maïs ensilage a permis d'augmenter sa teneur en matière organique et d'accroître sa stabilité structurale et sa porosité (tableau 6-2).

Malgré l'importance des techniques agricoles de conservation pour préserver la bonne structure du sol, moins de 10 % des agriculteurs québécois y recourent, selon un récent relevé. Cependant, certains pratiquent le travail sur billon, tandis que de nombreux producteurs laitiers font une rotation culturale et épandent régulièrement du fumier pour maintenir la teneur en matière organique du sol.

Nouveau-Brunswick

Un grave problème de dégradation structurale touche les sols ensemencés en pommes de terre et en légumes dans le nord-est du Nouveau-Brunswick, où seule l'érosion hydrique a des conséquences plus néfastes. Le compactage — le type de dégradation le plus courant dans cette région — résulte du passage de machinerie sur des sols

And is thy earth so marred,
Shattered in shard on shard?

Francis Thompson
The Hound of Heaven

Tableau 6-2 Propriétés structurales d'un loam limono-argileux du Québec après un épandage bisannuel de fumier sur une période de 10 ans.

Dosage du fumier (tonnes/ha)	Teneur en matière organique (%)	Taille des agrégats (mm)	Porosité (%)
0	3,2	1,3	51
20	4,0	1,6	52
40	4,3	1,5	54
60	4,9	1,7	55
80	5,4	1,7	56
100	5,5	1,8	56

pulvérisés par les opérations de labour et de récolte. Vu la fraîcheur et l'humidité du climat et la courte saison de croissance, les agriculteurs travaillent souvent leurs terres au début du printemps et la fin de l'automne, quand les sols sont humides.

On y pratique souvent les rotations pomme de terre-céréale et pomme de terre-pomme de terre-céréale, qui retournent peu de matière organique au sol. La perte de matière organique a également été accélérée par l'érosion des terres cultivées dans le sens de la pente. Des études repères ont révélé que dans les champs de pommes de terre, la couche supérieure du sol (0-15 cm) présente généralement une structure très faible ou inexistante, sur une couche subsuperficielle (15-25 cm) lamellaire et plus compactée, laquelle freine tant la croissance des racines que la percolation descendante de l'eau. En raison des perturbations causées par le travail intensif du sol, des faibles retours de matière organique au sol et d'un épandage massif de pesticides, les champs de pommes de terre abritent peu de vers de terre, qui améliorent la structure du sol.

Nouvelle-Écosse

Les sols de la Nouvelle-Écosse ont une structure naturellement faible; ils sont pauvres en matière organique et en éléments nutritifs et ils sont acides. Le compactage du sous-sol et/ou la présence de cuirasses naturelles ou de couches durcies peuvent être des signes manifestes d'une structure inappropriée du sol. La dégradation structurale est accélérée par l'utilisation de machinerie lourde sur des sols humides à texture fine durant les périodes humides que sont le début du printemps et la fin de l'automne.

Le risque de dégradation structurale culmine dans le cas des cultures en rangs (ex. maïs, pois, fèves, carottes et autres légumes à maturation tardive). La culture des céréales printanières et la fruiticulture arboricole engendre des risques de compactage modérés. Les céréales d'hiver, les plantes fourragères et le pâturage posent un faible risque de compactage. La vallée de l'Annapolis, surtout dans le comté de Kings et à un moindre degré dans le comté d'Annapolis, est la région la plus menacée par une dégradation structurale attribuable conjointement au régime d'assolement et à la qualité structurale inhérente du sol.

En 1990, environ 6 % du territoire agricole de la Nouvelle-Écosse était cultivé en rangs. Cette proportion est demeurée essentiellement inchangée depuis 1981, ce qui laisse croire que la superficie hautement menacée par une grave détérioration structurale est assez faible.

Cependant, on s'intéresse de plus en plus à la possibilité d'améliorer la structure du sol en semant des plantes fourragères plutôt que des céréales, en installant des réseaux de *drainage souterrain* et en modifiant la machinerie de façon à atténuer les effets de la circulation dans les champs. (Dans les secteurs faiblement à moyennement menacés par une dégradation structurale, les cultures fourragères ont connu une hausse de 2 % depuis 10 ans.)

Île-du-Prince-Édouard

Tous les sols de l'Île-du-Prince-Édouard, qui vont du loam au sable loameux, sont jusqu'à un certain point limités pour la production végétale en raison surtout de leur faible fertilité naturelle et de leur mauvaise structure. La forte teneur en limon et en sable fin du sol cause une faible *agrégation* qui, en retour, freine la régénération et le maintien de la structure du sol. En outre, la mauvaise structure du sous-sol engendre une faible *perméabilité*, d'où un drainage difficile.

Dans la majorité des sols agricoles de l'Île-du-Prince-Édouard, la teneur en matière organique varie actuellement

Tableau 6-3
Estimation des résidus de racines dans les cultures de l'Île-du-Prince-Édouard

Culture	Résidus de racines (tonnes/ha)
Ray-grass d'Italie	3,0-5,0
Céréale d'hiver	2,5-3,0
Trèfle rouge	2,2-3,0
Céréale de printemps	1,5-2,0
Soya	0,6-1,0
Pomme de terre	0,3-0,7

entre 2 et 3 %; elle dépasse 3 % (niveau aujourd'hui jugé nécessaire à une bonne qualité du sol) dans seulement 20 % environ des champs de pommes de terre. Des études ont révélé que le semis direct des céréales fait passer à bien au-delà de 3 % la teneur en matière organique de la couche superficielle du sol (0-5 cm) et accroît à plus de 3 mm le diamètre moyen pondéré des agrégats stables à l'eau. Cependant, on ne peut recourir au semis direct pour les plantes tubercules et les plantes racines, comme la pomme de terre. Pour accroître la teneur en matière organique des champs de pommes de terre, on doit alterner les cultures et retourner au sol les résidus (tableau 6-3), deux pratiques auxquelles les sols de cette province réagissent favorablement.

Les rendements des céréales de printemps sous les climats humides déclinent généralement lorsque la *macroporosité* du sol (le volume des pores de grande taille dans le sol) est inférieure à 12 % et que l'occurrence du *pourridié* (une maladie courante en l'absence d'aération appropriée du sol) augmente, comme c'est le cas dans les sols compactés. Le recours au travail de conservation permet habituellement de pallier le compactage excessif de la zone radiculaire. Un compactage excessif du sous-sol est toutefois considéré comme permanent.

Une nouvelle technique pour décrire la structure des sols

La caractérisation de la structure du sol et de son effet sur la qualité du sol a toujours été problématique pour deux grandes raisons : la nature fragile et changeante de la structure du sol et l'absence générale de techniques et d'études sur sa mesure. La récente technique faisant appel à l'infiltromètre à tension s'avère cependant très prometteuse comme moyen de caractériser certaines des principales propriétés de la structure du sol.

L'infiltromètre à tension est un appareil qui applique une succion au sol. En régulant l'intensité de la succion, on peut contrôler la taille des pores du sol qui transmettent l'eau et les substances dissoutes. Cette nouvelle technique permet de mesurer directement l'effet de la structure du sol sur la percolation de l'eau, des engrais et des pesticides dans le profil du sol. Elle peut également servir à suivre les modifications engendrées dans la structure du sol par un changement du régime d'aménagement des terres, par exemple l'introduction du non-labour ou d'une rotation culturale étendue.

D'application facile et rapide sur le terrain, cette technique perturbe très peu le sol. Des recherches sont en cours pour l'expérimenter et la raffiner.

(W.D. Reynolds, AAC, Ottawa, Ont.)

Amélioration de la structure des sols canadiens

Dans toutes les régions du pays, les pratiques agricoles axées sur la conservation continuent de faire leurs preuves comme moyens de préserver et d'améliorer la structure des sols. Les pratiques culturales appropriées sont celles qui perturbent le moins le sol, c'est-à-dire :

- le non-labour et le *semis direct*, quand la culture s'y prête
- le remplacement du travail profond du sol classique (plus de 25 cm) par travail du sol en surface (10 cm)
- l'élimination du labour secondaire par l'emploi de systèmes de labour à passage unique
- le travail du sol en rotation ou l'emploi de façons culturales propres à une culture.

Les pratiques suivantes retournent au sol davantage de matière organique et en améliorent la structure :

- culture continue (jachère réduite)
- gestion des résidus de culture, pour réduire le travail du sol automnal et établir une couverture végétale
- épandage d'engrais vert
- inclusion d'espèces fourragères dans les rotations culturales
- ensemencement de cultures de couverture pour protéger le sol après la récolte de la culture principale
- contre-ensemencement des cultures céréalières avec des pommes de terre.

Dans les secteurs montagneux, spécialement ceux cultivés en rangs, la culture en courbes de niveaux et la modification du paysage (comme la construction de terrasses ou l'aménagement de voies d'eau gazonnées) réduisent les pertes de sol imputables à l'érosion qui dégradent la structure du sol. On peut également atténuer le risque de compactage en

Tant que durera la terre, semailles et moissons, froidure et chaleur, été et hiver, jour et nuit ne cesseront plus.

Genèse 8:22

réduisant la pression exercée par le passage de la machinerie dans les champs (notamment en limitant les charges par essieu et en employant des pneus à grande portance et des roues en tandem) et en installant des réseaux de drainage souterrains, spécialement dans les sols loameux comportant un sous-sol à perméabilité lente qui retarde le drainage interne.

Conclusions

Bien que les données existantes ne permettent pas de caractériser l'état de la structure des sols canadiens, on peut faire les généralisations suivantes :

- dans les régions humides, le compactage est la principale cause d'altération de la qualité des sols
- dans les sols travaillés de façon classique sous un régime de monoculture, la perte de matière organique entraîne une dégradation structurale
- les pratiques culturales qui incorporent au sol les résidus de culture sont plus susceptibles de dégrader la qualité du sol
- l'intégration au sol des résidus sous un régime de monoculture dégrade le plus la structure du sol.

Pour stopper la dégradation structurale du sol, il faut privilégier le travail de conservation. D'ici la généralisation de telles pratiques, on doit s'attendre à une diminution de la qualité structurale des sols.

Les pratiques de gestion qui améliorent ou, à tout le moins, préservent la structure du sol varient selon les régions et les régimes culturaux. Par exemple, le semis direct convient aux céréales dans l'Île-du-Prince-Édouard, et le non-labour au maïs en Ontario, tandis que le travail de conservation sous culture continue est tout indiqué dans les Prairies. On peut prévenir un compactage supplémentaire du sol par la machinerie agricole en élaborant des procédures qui déterminent les périodes optimales de culture et de récolte.



Érosion

G.J. Wall, E.A. Pringle, G.A. Padbury, W.W. Rees, J. Tajek, L.J.P. van Vliet, C.T. Stushnoff, R.G. Eilers et J.-M. Cossette

Points saillants

- L'érosion est un processus naturel, accéléré par l'activité agricole, qui enlève la couche arable du sol, diminue la teneur en matière organique du sol et contribue à sa dégradation structurale.
- Le risque d'érosion éolienne (par le vent) du sol nu est négligeable à faible sur 37 % des terres cultivées des provinces des Prairies, modéré sur 29 % et élevé à aigu sur 36 %. Le risque d'érosion éolienne est élevé à aigu sur 5 % des terres cultivées au Canada en 1991.
- Le travail de conservation du sol a permis de réduire de 7 % le risque d'érosion éolienne dans les provinces des Prairies entre 1981 et 1991; l'amélioration la plus marquée a été observée dans les sols sableux où les cultures fourragères vivaces ont remplacé les cultures annuelles.
- Le risque d'érosion hydrique du sol nu est négligeable à faible sur 63 % des terres cultivées du Canada, modéré sur 17 % et élevé à aigu sur 20 %; il est élevé à aigu sur une bonne partie du territoire des Maritimes (80 %), de la Colombie-Britannique (75 %) et de l'Ontario (50 %), mais faible dans les provinces des Prairies. Le risque d'érosion hydrique est élevé à aigu sur 5 % des terres cultivées en Ontario et 2 % dans les provinces des Prairies.
- Le travail de conservation du sol a permis de réduire de 11 % le risque d'érosion hydrique au Canada. Ce risque a diminué de 17 % en Colombie-Britannique, de 11 % dans les provinces des Prairies et de 16 % dans le centre du Canada, tandis qu'il a augmenté de 0,5 % dans les Maritimes en raison d'une intensification des cultures en rangs, mais cette hausse ne tient pas compte de la réduction des pertes causée par l'aménagement de terrasses et de voies d'eau gazonnées.
- Les pratiques de gestion suivantes contribuent à réduire l'érosion : gestion des résidus, extension des rotations culturales, contre-ensemencement, couvertures végétales hivernales, brise-vent, cultures en bandes alternantes, cultures en courbes de niveaux et restructuration du paysage (terrasses, dérivations et voies d'eau gazonnées).

... comme tout autre réservoir, celui-là peut aussi être drainé, vidé et rendu inutilisable; laisser les vents et les pluies balayer les champs en jachère; laisser uniquement le sol nu exposé aux éléments — une perte si tragique et si rapide.

J.A. Toogood
Our Soil and Water

Introduction

L'érosion est un processus par lequel le sol est transporté d'un endroit à l'autre. Au cours de périodes géologiques antérieures, les glaciers ont déplacé d'immenses volumes de matériaux pédologiques superficiels. Aujourd'hui, le vent et l'eau sont les principaux agents naturels d'érosion. L'érosion se produit

Le corps de la terre avait été charrué par les griffes de la pluie.

Jean Giono
Naissance de l'Odyssée

naturellement en milieu cultivé, boisé et urbain, mais l'activité humaine (comme l'agriculture, l'exploitation forestière et l'urbanisation) peut l'accélérer au point d'engendrer des problèmes environnementaux et économiques.

L'érosion enlève la matière organique du sol (*voir* le chapitre 5) et contribue à sa dégradation structurale (chapitre 6). Ces pertes appauvrissent le sol et réduisent les mouvements de l'eau et le rendement des cultures. Dans un même champ, un sol gravement érodé peut donner des rendements de 50 % à 100 % inférieurs à ceux d'un sol stable.

Problèmes actuels d'érosion au Canada

Un peu partout au Canada, les programmes de conservation du sol ont grandement sensibilisé la population à l'érosion et aux moyens de la contrer. Voici les grands enjeux auxquels nous confronte actuellement le problème de l'érosion :

- planification de la conservation des sols
- remise en état des sols dégradés
- qualité de l'eau rurale.

Pendant des décennies, la conservation du sol était synonyme de lutte contre l'érosion, principalement parce que cette dernière modifiait visiblement le paysage et la productivité du sol. Aujourd'hui, on comprend que l'érosion ne constitue qu'un facteur parmi d'autres qui affectent la santé du sol. Planifier la conservation du sol selon une approche systémique permet d'aborder les problèmes d'érosion concurremment avec d'autres aspects de la santé du sol, dont sa productivité, et avec les volets environnementaux et économiques.

L'érosion peut affecter une parcelle de terrain sans toucher aux autres. Le défi actuel est de mettre au point des méthodes pratiques et économiques pour épandre des amendements agricoles, comme les engrais, en doses variables selon les besoins du sol.

Les sédiments que l'eau enlève des terres agricoles peuvent ensabler les fossés de drainage et gravement dégrader les habitats aquatiques. Sous l'effet de l'érosion, des particules de terre contenant des éléments nutritifs et des pesticides pénètrent dans des étangs, des cours d'eau et des lacs où elles altèrent la qualité de l'eau et modifient l'écologie du milieu; ces derniers deviennent souvent impropres aux activités récréatives et au prélèvement d'eau d'irrigation. La protection de la qualité des eaux superficielles et souterraines passe en grande partie par la réduction des pertes de sol, d'éléments nutritifs et de pesticides en milieu agricole.

Facteurs d'érosion du sol

Plusieurs facteurs d'érosion ont trait au sol, au paysage et au climat, notamment :

- la *texture du sol*
- la structure du sol
- le relief en surface
- la protection du sol par les plantes ou les résidus végétaux
- la pluviosité
- la force du vent.

L'érosion agit sur les particules de sol mal consolidées à la surface. Les sols limoneux et les sols de sable très fin sont particulièrement vulnérables, tout comme les sols mal structurés dont les agrégats (mottes) ont été réduits en fines particules par le travail du sol et d'autres facteurs. C'est particulièrement le cas des sols compactés, qui ne peuvent absorber facilement l'eau et qui sont donc vulnérables au ruissellement superficiel et à la perte de sol.

Le relief en surface (modelé et déclivité) influe sur la direction et le rythme de l'érosion. Il influence également l'endroit où le sol se dépose, puisqu'un sol érodé tend à s'accumuler au pied des pentes et dans les dépressions.

Les sols exposés s'érodent davantage que les sols bien protégés par des plantes ou des résidus végétaux. Les plantes maintiennent le sol en place grâce à leurs racines et l'enrichissent de matière organique, ce qui améliore sa structure et accroît sa résistance à l'érosion. La portion aérienne des plantes brise la force du vent et l'énergie des gouttes de pluie. Les résidus de culture protègent également le sol en formant une barrière entre la surface et les agents d'érosion.

Quant aux facteurs climatiques, les principaux sont le degré d'humidité du sol et les événements météorologiques ponctuels (tempêtes de vent et de pluie). Les sols sont le plus vulnérables à l'érosion éolienne quand leur surface s'assèche rapidement en période de pluviosité nulle ou faible, comme c'était le cas dans les Prairies lors de la grande sécheresse des années trente ou tôt au printemps lorsque le sol n'est pas protégé par la végétation. La vitesse et la fréquence des vents sont des facteurs majeurs d'érosion éolienne.

L'énergie de la pluie et le ruissellement sont les grandes forces d'érosion hydrique (l'énergie d'une seule goutte de pluie cause une *érosion par éclaboussement* qui peut déplacer des particules de sol sur plusieurs mètres vers l'aval). L'abondance et la fréquence annuelles des précipitations déterminent en grande partie le taux d'érosion hydrique. Par exemple, les régions qui reçoivent beaucoup de précipitations pendant les semailles sont plus érodables que celles qui reçoivent des précipitations équivalentes plus tard dans la saison de croissance, au moment où le sol est protégé par un couvert végétal.

Signes d'érosion

Dans un champ, les signes d'érosion sont quelquefois manifestes. Voici des symptômes courants d'érosion éolienne :

- nuages de poussière (fig. 7-1*A*)
- accumulation de sol le long des clôtures et des bancs de neige
- apparence balayée de la surface du sol.

Quant à l'érosion hydrique, en voici également quelques signes courants :

- petites *rigoles* à la surface du sol
- dépôt de sol au pied des pentes (fig. 7-1*B*)
- sédimentation des cours d'eau et des réservoirs (fig. 7-1C)
- *piliers* de sol supportant de petites pierres et des débris végétaux (l'érosion lessive le sol environnant; fig. 7-1*D*).

Il n'est cependant pas toujours facile de voir l'érosion, dont les symptômes sont souvent masqués par l'activité agricole.

Érosion causée par le travail du sol

Le vent et l'eau sont les agents naturels de l'érosion. Une théorie généralement acceptée veut que l'érosion hydrique augmente proportionnellement à la distance en aval. Cependant, dans des régions telles que les plaines de till moutonné des Prairies ou le sud-ouest de l'Ontario, où plus de 70 % du territoire est constitué de hautes terres vallonnées, on observe souvent des pertes élevées de sol dans le haut des pentes cultivées. Fréquemment, ces endroits donnent des rendements agricoles de 40 à 50 % inférieurs à ceux obtenus ailleurs dans le même champ. Dans les cas extrêmes, l'érosion de la couche arable peut être si grave sur ces tertres que les plantes n'y pousseront plus.

Cette observation a incité des chercheurs de l'Université de Guelph à se pencher sur la cause du problème. D'après leurs conclusions, l'*érosion causée par le travail du sol* (déplacement du sol par les instruments aratoires) est fortement à blâmer pour les pertes élevées de sol subies par les paysages vallonnés ou moutonnés.

Selon les études sur la question, de nombreux instruments aratoires courants, dont la charrue à versoirs, le cultivateur sous-soleur, la charrue à disques et le cultivateur, entraînent un déplacement du sol vers l'aval dans les endroits convexes en haut de pente. Le sol déplacé par le travail cultural n'aboutit pas aussi facilement dans les cours d'eau que le sol déplacé par l'érosion hydrique et n'a donc pas les mêmes répercussions environnementales hors ferme; néanmoins, l'érosion causée par le travail du sol a des effets tangibles sur la santé du sol. On a estimé à plus de 45 tonnes à l'hectare les pertes annuelles de sol résultant du travail cultural sur une parcelle à l'étude, ce qui est nettement supérieur à la limite annuelle tolérable (5 tonnes/hectare).

Les caractéristiques du travail cultural et du paysage déterminent les effets du travail sur le déplacement du sol. Pour ce qui est du travail cultural, les facteurs en jeu comprennent la profondeur du travail, la vitesse du tracteur, la longueur et la largeur de l'instrument aratoire ainsi que la forme et la disposition de l'outil. Quant au paysage, les facteurs importants sont la courbe et le gradient de la pente; en effet, le travail cultural cause une érosion maximale dans les pentes convexes. D'autres propriétés pédologiques, comme la densité apparente, l'humidité et la résistance au déplacement, influent également sur le taux d'érosion lié au travail du sol.

On a entrepris des études pour mieux comprendre les processus responsables de l'érosion par le travail du sol et les méthodes qui pourraient en atténuer les effets négatifs. À l'heure actuelle, ces méthodes consistent à réduire la fréquence et l'intensité du travail, à employer des instruments aratoires plus petits et à varier l'orientation du travail dans le champ.

(E.A. Pringle, AAC, Guelph, Ont.)











Figure 7-1

A *Nuages de poussière*

B *Dépôt de sol au pied des pentes*

C *Sédiments pénétrant dans une voie d'eau*

D *Piliers de sol supportant de petites pierres*

E *Ravin*

Par exemple, le travail du sol peut détruire les petits canaux superficiels creusés par l'érosion hydrique. L'*érosion en nappe*, type d'érosion hydrique qui enlève une fine couche uniforme de sol de surface, est souvent à peine visible. La progression de l'érosion s'accompagne toutefois de signes plus graves, comme :

- de grandes cicatrices permanentes dans les champs, comme des ravins (fig. 7-1*E*)
- une modification de la couleur du sol, causée par l'enlèvement de la matière organique sombre et à l'exposition des sous-sols plus clairs
- une diminution de la croissance des cultures (fig. 7-1*B*).

Lutte contre l'érosion

Bien que de nombreuses pratiques agricoles classiques accélèrent l'érosion, il est possible de la réduire au moyen d'autres systèmes d'assolement, de travail du sol et de gestion de l'eau, et ce de trois grandes façons : 1) en maintenant au sol une couverture protectrice; 2) en bloquant l'agent d'érosion; 3) en modifiant le paysage pour limiter l'abondance et le taux du ruissellement. Les méthodes ci-dessous contribuent à maintenir une couverture végétale :

- culture de plantes fourragères dans la rotation culturale ou comme couvert permanent







Figure 7-2

A Résidus de culture

B Cultures en bandes alternantes

C Voies d'eau gazonnées

- ensemencement de cultures-abris hivernales
- contre-ensemencement
- gestion des résidus de culture (fig. 7-2*A*).

Les méthodes antiérosives qui créent un obstacle physique au vent ou à l'eau agissent en modifiant le trajet de l'agent d'érosion et en réduisant sa force. En voici quelques exemples :

- plantation de brise-vent (*voir* l'encadré p. 66)
- culture en bandes alternantes (action d'alterner en bandes étroites des cultures labourées, perpendiculairement à une longue pente (fig. 7-2*B*)

Tableau 7-1 Pratiques anti-érosion au Canada, 1991 (pourcentage d'agriculteurs déclarants)

Province	Fourrages	Cultures de couverture hivernales	Voies d'eau enherbées	Cultures en bandes alternantes	Cultures en courbes de niveau	Brise-vent
Colombie-Britannique	23	11	10	2	5	13
Alberta	43	7	17	10	11	29
Saskatchewan	22	6	12	21	18	35
Manitoba	35	7	12	5	13	37
Ontario	60	20	15	4	7	21
Québec	52	4	4	3	4	8
Nouveau-Brunswick	44	10	9	5	8	8
Nouvelle-Écosse	34	12	8	3	8	7
Île-du-Prince-Édouard	72	9	11	4	10	16
Terre-Neuve	17	7	4	1	7	12
Canada	42	10	13	9	10	15

Source: Dumanski et coll., 1994.

Les brise-vent dans les Prairies

Les rideaux-abris (ou brise-vent) sont couramment employés dans les Prairies pour briser la force du vent qui balaie les vastes champs dégagés. Le pourcentage de producteurs dans les provinces des Prairies qui utilisent les brise-vent en 1991 était le double du pourcentage pour l'ensemble du pays. Au fil des ans, les incitations à planter ces dispositifs anti-érosion ont été faites surtout par le Centre d'aménagement de brise-vent, créé en 1902. Durant sa première année d'existence, le Centre avait distribué environ un million de semis; il en fournit aujourd'hui sept millions par année.

Durant la sécheresse des années 1930, d'importantes plantations brise-vent ont été aménagées à Lyleton (Manitoba), à Conquest et Aneroid (Saskatchewan) ainsi qu'à Porter Lake (Alberta). En 1964, le projet Conquest couvrait 705 km^2, et 1 600 km de brise-vent avaient été plantés à l'aide d'environ sept millions de semis. Les principales espèces plantées étaient le caragan, le frêne vert, l'érable négondo et l'orme d'Amérique.

Durant les années 1960 et 1970, la plantation de rideaux-abris a décliné, malgré la mise en chantier de deux grandes plantations près de Carberry au Manitoba (1968) et de Leader en Saskatchewan (1978). Dans les années 1980, en raison d'une meilleure sensibilisation à l'importance de conserver le sol, de nombreuses associations ont vu le jour. Entre 1989 et 1992, trois programmes fédéraux-provinciaux (Entente Canada-Alberta sur la conservation des sols, Sols Secours en Saskatchewan et Cultiver pour l'avenir au Manitoba) ont permis d'accroître considérablement le nombre de brise-vent.

Dans les années 1990, le besoin de diversifier le secteur agricole a conféré de nouveaux usages aux rideaux-abris, qui ne servent plus seulement à contrer les effets du vent. On y encourage aujourd'hui l'agro-foresterie, notamment la production de fruits, de sirop d'érable et de bois. On se penche également sur les avantages des brise-vent pour les cultures spéciales. À l'heure actuelle, 40 % environ du matériel végétal distribué est destiné à un emploi polyvalent et à une remise en valeur de l'habitat faunique.



Brise-vent près de Conquest (Saskatchewan)

(G. Howe, Centre d'aménagement de brise-vent, Indian Head, Sask.)

- travail du sol pour produire des agrégats, ou mottes, en surface
- culture en courbes de niveaux (action de cultiver la terre en suivant le relief plutôt que la pente).

Quelquefois, la seule solution consistera à modifier la pente du sol, par exemple en construisant de petites digues de dérivation en terre, en aménageant des terrasses (gradins qui modifient la longueur et la déclivité de la pente) et en modelant le paysage. Une autre façon d'atténuer le ruissellement est de construire des voies d'eau gazonnées, c'est-à-dire de creuser et de gazonner un fossé où s'accumuleront les eaux de ruissellement (fig. 7-2C). Il s'agit là de méthodes antiérosives coûteuses, qu'on ne retiendra que pour les cultures de grande valeur.

Selon le *Recensement de l'agriculture* de 1991, l'alternance de cultures fourragères était la méthode anti-érosion la plus couramment employée au Canada (tableau 7-1). Cette pratique est surtout adoptée dans les régions humides, où les plantes fourragères croissent bien, et dans les secteurs où l'on pratique l'élevage, les plantes fourragères servant d'alimentation pour le bétail. Dans les Prairies, de nombreux endroits fortement érodables sont maintenant protégés par une couverture végétale permanente. On recourt également aux brise-vent (coupe-vent) dans les Prairies, où divers facteurs (terrain plat, faible protection naturelle offerte par les broussailles, vastes champs et vents forts) contribuent à rendre le territoire agricole particulièrement vulnérable à l'érosion éolienne. Quant aux cultures-abris hivernales, comme le seigle d'automne et le blé d'hiver, c'est en Ontario qu'elles sont le plus employées; elles protègent le sol durant l'automne et le printemps, deux périodes habituellement improductives où l'érosion peut être grave. Enfin, la culture en bandes alternantes et la culture en courbes de niveau sont surtout populaires dans les Prairies.

La gestion des résidus de culture est une pratique anti-érosive qui gagne en popularité. Dans les pratiques culturales classiques, on enfouit les résidus de culture dans le sol pour préparer un lit de semences «propre» en vue de la prochaine culture. Dans le travail de conservation, on laisse en surface une

bonne partie des résidus végétaux, qui protègent le sol contre l'érosion. Quant au non-labour, qui consiste à ensemencer directement dans les résidus de la culture précédente, il assure au sol une couverture optimale par les résidus.

Évaluation de l'érosion

L'étendue et la gravité de l'érosion peuvent être mesurées assez précisément sur une petite parcelle de terrain, par exemple un site expérimental. La tâche est plus ardue sur de plus vastes superficies. Nous pouvons toutefois mettre à profit notre compréhension des relations qui existent entre le sol, le climat et le paysage pour prévoir quels sols et quels secteurs sont naturellement susceptibles à l'érosion, et lesquels sont menacés par l'érosion en raison de pratiques d'utilisation et de gestion des terres. Les sols les plus vulnérables sont ceux qui risquent d'être érodés à cause de leur composition naturelle et des pratiques d'aménagement.

Risque d'érosion inhérent

L'érosion du sol dépend de nombreuses caractéristiques naturelles du sol, du paysage et du climat. Dans l'évaluation de l'érodabilité naturelle des sols, on postule que les sols sont nus (sans végétation) et ne font l'objet d'aucune pratique de conservation.

Érosion éolienne

Le risque d'érosion éolienne des terres agricoles touche de nombreuses régions du Canada. Les zones vulnérables comprennent notamment les sols sableux bordant le Fraser dans le sud de la Colombie-Britannique, les champs de tabac du sud de l'Ontario, les sols organiques du sud du Québec et les secteurs côtiers des provinces atlantiques. Cependant, l'érosion éolienne est, de loin, la plus étendue et la plus dommageable dans les provinces des Prairies, caractérisées par un climat sec et de vastes champs découverts (en jachère).

Modélisation de l'érosion

Dans le sens le plus général du terme, un modèle sert à représenter quelque chose d'autre. Les avions miniatures et les cartes routières sont des exemples de modèles. De la même façon, on recourt souvent à des modèles ou à des équations mathématiques pour représenter des processus tels que l'érosion du sol. Ces modèles résument l'idée que se font les chercheurs du fonctionnement d'un processus, et ils prédisent ce qui arrivera en cas de modification de certains facteurs de l'équation.

La prédiction des phénomènes d'érosion éolienne et hydrique repose sur notre capacité d'anticiper le comportement de la nature. C'est là une tâche ardue, vu la variation locale des conditions pédologiques et de la vitesse des vents ainsi que l'incertitude entourant la distribution future des vents et des précipitations sous forme de pluie.

L'*équation d'érosion éolienne*, élaborée en partie grâce aux travaux avant-gardistes menés par W.S. Chepil à la Station de recherches de Swift Current dans les années 1930 et 1940, a été le premier modèle mathématique employé pour prévoir l'érosion éolienne. Publiée pour la première fois en 1965, cette équation sous-tend la majorité des travaux d'analyse éolienne effectués pour le présent rapport.

Des chercheurs canadiens et américains travaillent actuellement à la construction d'un nouveau modèle d'érosion éolienne — le modèle de recherche en érosion éolienne —, qui vise à simuler les processus réels d'érosion éolienne et à prévoir quotidiennement les variables d'ordre végétal et pédologique qui déterminent l'érodabilité du sol. Le modèle analyse ensuite les données météorologiques à long terme pour prédire la probabilité et la gravité d'un épisode d'érosion. Des recherches sur ce nouveau modèle sont en cours aux stations de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Lethbridge (Alberta) et Melfort (Saskatchewan).

(Ben Ellert, AAC, Lethbridge, Alb. et Glenn Padbury, AAC, Saskatoon, Sask)

Tableau 7-2 Risque inhérent (sols nus) d'érosion éolienne sur les terres cultivées des Prairies

	Terres cultivées (%)			
Catégorie	Alberta	Saskatchewan	Manitoba	Prairies
Négligeable	7	4	8	6
Faible	39	23	37	31
Modéré	24	34	19	29
Élevé	27	33	30	30
Aigu	4	7	5	6

Tableau 7-3 **Risque inhérent (sols nus) d'érosion hydrique sur les terres cultivées au Canada**

Risque	Terres cultivées (%) C.-B.	Alb.	Sask.	Man.	Ont.	Qc	N.-B.	N.-É	Î.-P.-É.	Canada
Négligeable	5	39	51	35	12	18	0	3	1	40
Faible	6	16	26	41	11	21	4	6	7	23
Modéré	13	17	19	6	24	14	16	4	11	17
Élevé	3	10	3	4	25	4	13	3	37	7
Aigu	72	18	1	14	27	43	67	84	44	13

En lutte contre les éléments irrités; il ordonne aux vents de jeter d'un souffle la terre dans la mer.

William Shakespeare
Le Roi Lear

Les estimations du risque relatif d'érosion éolienne sur un sol nu et découvert des Prairies révèlent que le risque est négligeable à faible dans un peu plus du tiers de la région; il est élevé à aigu dans une portion semblable du territoire (tableau 7-2).

Érosion hydrique

Le risque d'érosion hydrique est préoccupant dans toutes les régions agricoles du Canada. Les sols érodables à texture fine sont exposés à l'érosion par la pluie et le ruissellement en de nombreux endroits, notamment ceux-ci :

- les bassins de Rivière-de-la-Paix et du fleuve Fraser, en Colombie-Britannique
- les terrains inclinés mis en jachère, dans les Prairies
- les hautes terres vallonnées de l'Ontario et du Québec
- les sols minces et fragiles des Maritimes.

Le risque d'érosion hydrique est particulièrement élevé sur les terres soumises à une culture intensive. Les terres cultivées pour la production de plantes marchandes dans les Maritimes, en Ontario et en Colombie-Britannique sont très vulnérables.

Selon un résumé national (tableau 7-3), le risque d'érosion hydrique varie de négligeable à faible sur environ 63 % des terres cultivées au Canada; il est élevé ou aigu sur près de 20 % des terres. Les provinces Maritimes constituent la région la plus menacée par l'érosion hydrique (plus de 80 % des terres cultivées courant un risque élevé à aigu), suivies par la Colombie-Britannique (75 %) et le centre du Canada (environ 50 %). Le risque d'érosion hydrique est beaucoup plus faible dans les Prairies, en raison du paysage relativement plat et de la faible pluviosité.

Effets des pratiques d'utilisation et de gestion des terres

Il est important de se rappeler que les évaluations des risques d'érosion (éolienne et hydrique) visent des sols nus et découverts. L'évaluation du *risque réel d'érosion* doit également prendre en compte la couverture végétale et les méthodes d'assolement et de travail du sol.

Dans notre évaluation du risque d'érosion, nous avons utilisé le *Recensement de l'agriculture* de 1991, d'autres questionnaires et des données pédologiques tirées de *Pédo-paysages du Canada* pour calculer l'étendue des diverses catégories de risque d'érosion éolienne et hydrique. Pour évaluer le risque réel d'érosion, nous avons utilisé le risque inhérent d'érosion, que nous avons ajusté à la baisse selon l'efficacité des méthodes d'assolement et de travail du sol. Nous indiquons le risque d'érosion éolienne pour les Prairies, et le risque d'érosion hydrique pour les Prairies et pour l'Ontario.

Érosion éolienne

Sous les pratiques de gestion appliquées en 1991, moins de 5 % des terres cultivées des Prairies couraient un risque élevé àaigu d'érosion éolienne (fig. 7-3). La majorité des terres les plus menacées sont caractérisées par un sol sableux et un risque inhérent d'érosion élevé. Les sols moyennement menacés so généralement des loams sableux, quoique cette catégorie englobe également quelques sols argileux des régions méridionales. Sinon, le risque diminue généralement du sud au nord, en raison des vents plus faibles, des températures plus fraîches et

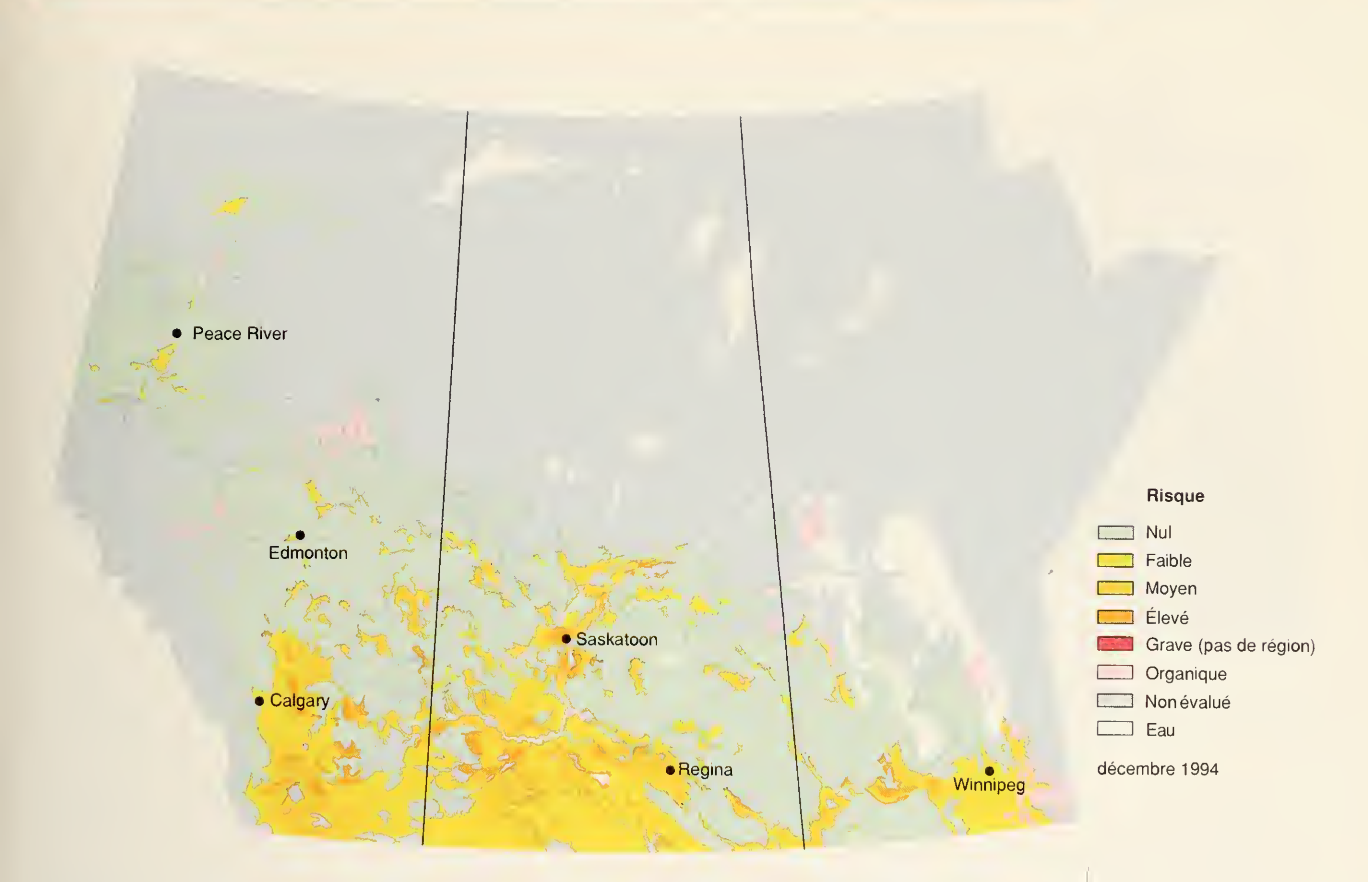


Figure 7-3 Risque d'érosion éolienne dans les Prairies sous les pratiques de gestion de 1991 (selon le *Recensement de l'agriculture* de 1991).

des précipitations plus abondantes qui caractérisent le Nord. La popularité croissante d'une réduction des mises en jachère et de l'ensemencement en cultures fourragères vivaces, combinée à la hausse des rendements et à une meilleure gestion des résidus de culture, est un autre facteur de réduction du risque d'érosion éolienne dans les régions septentrionales.

Nous estimons que la limite annuelle tolérable de perte de sol dans les Prairies est dépassée sur environ 15 % des terres cultivées (5 millions d'hectares), dont quelque 750 000 hectares courent un risque d'érosion élevé à aigu, le reste appartenant à la catégorie de risque modéré. Environ 75 % des terres dépassant la limite tolérable sont situées dans les zones des sols bruns et brun foncé du sud de l'Alberta et de la Saskatchewan.

Érosion hydrique

Nous avons évalué le risque d'érosion hydrique dans les provinces des Prairies et l'Ontario, où se trouvent 90 % des terres cultivées au Canada. Ce risque est indiqué à la figure 7-4 pour les Prairies, et à la figure 7-5 pour l'Ontario. La catégorie de risque minimal comprend les sols où, sous les pratiques de gestion les plus courantes, l'érosion aurait un taux tolérable pour une production végétale soutenue. Les autres catégories de risque représentent les secteurs où une production végétale soutenue nécessite des pratiques de conservation du sol et de l'eau.

Environ 95 % des terres cultivées des Prairies présentent un risque tolérable d'érosion hydrique. Le risque modéré à élevé qui touche les autres terres s'explique par des pentes abruptes où l'érosion doit être contrée par des pratiques de gestion de la conservation.

Peace River
Edmonton
Calgary
Saskatoon
Regina
Winnipeg
Risque
Tolérable
Faible
Moyen
Élevé
Grave
Aucune donnée
Non évalué
Eau
décembre 1994

Figure 7-4 **Risque d'érosion hydrique dans les provinces des Prairies sous les pratiques de gestion de 1991** (selon le *Recensement de l'agriculture* de 1991).

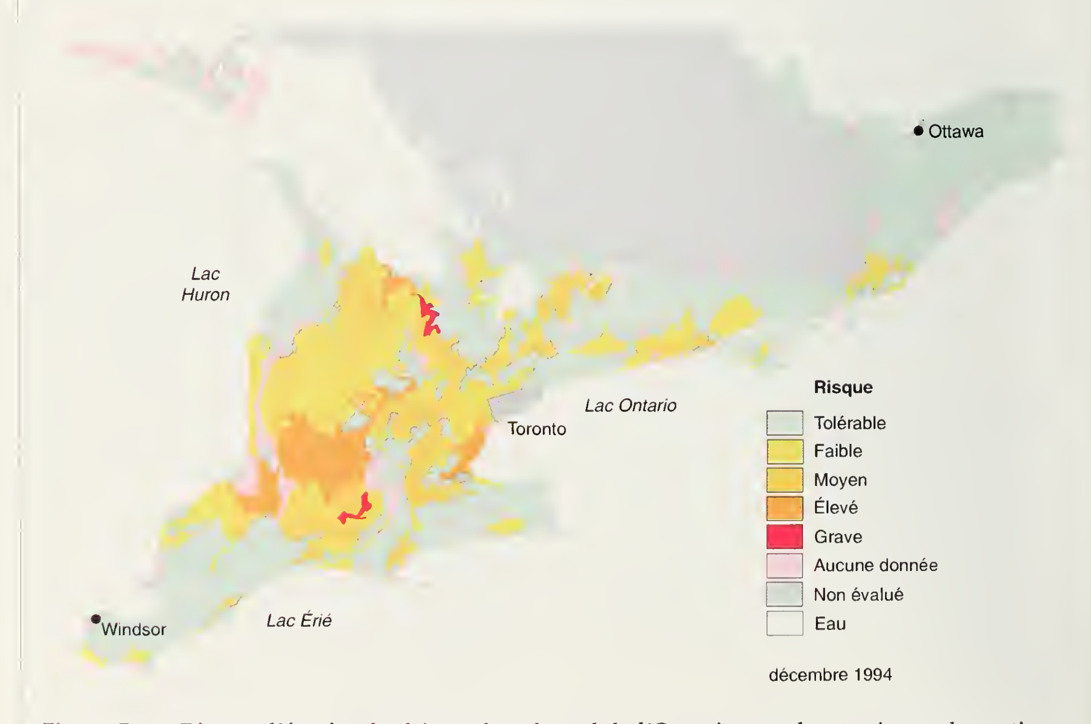


Figure 7-5 **Risque d'érosion hydrique dans le sud de l'Ontario sous les pratiques de gestion de 1991** (selon le *Recensement de l'agriculture* de 1991).

Le risque d'érosion hydrique est élevé à aigu sur environ 2 % des terres cultivées.

En Ontario, environ 60 % des terres cultivées nécessitent l'adoption d'autres mesures de gestion axées sur la conservation; environ 25 % sont faiblement menacées par l'érosion hydrique, et 10 % courent un risque modéré. Cinq pour cent des sols ontariens risquent d'être gravement à très gravement érodés.

Évolution du risque d'érosion

Dans les années 1980, divers rapports laissaient entendre que si l'érosion du sol n'était pas freinée, elle mettrait en péril l'avenir de l'agriculture durable au Canada. Pour déterminer si les pratiques de conservation adoptées depuis ont atténué le risque d'érosion, nous avons examiné l'évolution du risque réel d'érosion entre 1981 et 1991.

Érosion éolienne

Le risque d'érosion éolienne dans les Prairies a diminué d'environ 7 % entre 1981 et 1991 (fig. 7-6). Les deux tiers environ de cette baisse sont imputables

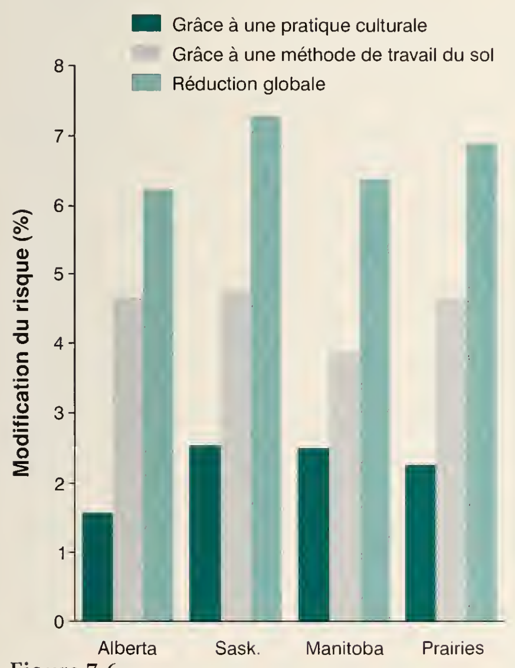


Figure 7-6
Réduction du risque d'érosion éolienne dans les Prairies entre 1981 et 1991

Mesure de l'érosion éolienne

Pour la première fois au Canada, le nouveau système de prévision de l'érosion éolienne a permis à des chercheurs de mesurer les pertes réelles de sol causées par l'érosion éolienne, à partir d'épisodes d'érosion. Sur une parcelle d'étude située près de Lethbridge en Alberta, les pertes de sol ont atteint jusqu'à 30 tonnes/hectare lors d'un seul épisode d'érosion éolienne, et environ 122 tonnes/hectare sur sept mois de jachère.



Échantillonneur de poussière employé pour mesurer les pertes de sol dans les champs.

Même si le sol de la parcelle avait subi un travail excessif pour favoriser l'érosion, le fait qu'il n'était pas d'un type particulièrement susceptible à l'érosion (loam argileux) et qu'il avait antérieurement profité d'un non-labour durant 6 ans illustre la vulnérabilité des sols de cette région à l'érosion éolienne en l'absence de mesures de protection. Si l'on suppose le rythme le plus rapide de renouvellement naturel des sols cultivés et dans l'hypothèse qu'aucune autre érosion ne se produira, la reconstitution de la couche arable perdue nécessiterait environ 15 ans.

Pertes de sol durant des épisodes d'érosion éolienne, Lethbridge (Alb.)

Date	Durée du vent (h)	Vitesse maximale du vent (km/h)	Perte de sol (tonnes/ha)
1991			
6 décembre	8	58	23
9 décembre	12	55	20
10 décembre	5	56	14
11 décembre	8	57	14
16 décembre	7	53	6
1992			
3 avril	7	58	30
4 avril	3	50	6
5 avril	8	47	5
9 avril	2	43	1
13 avril	1	51	2
18 avril	10	55	12

(F.J. Larney, AAC, Lethbridge, Alb. et G.A. Padbury, AAC, Saskatoon, Sask.)

au travail de conservation, le reste résultant d'une modification des régimes culturaux, spécialement une réduction marquée de la mise en jachère (*voir* l'encadré p. 71).

Dans les régions arides de la Saskatchewan et de l'Alberta, le travail de conservation a permis de réduire de près de 5 % le risque d'érosion éolienne, alors que le changement de régimes culturaux n'a eu qu'un effet négligeable. Dans certains secteurs, le remplacement des cultures céréalières par des cultures oléagineuses et spécialisées peut avoir légèrement augmenté le risque d'érosion éolienne. Par ailleurs, ce dernier a chuté d'environ 20 à 30 % dans certaines zones sableuses grâce à une forte intensification des cultures fourragères vivaces au détriment des cultures annuelles. L'érosion éolienne a un peu plus diminué dans les zones à sols noirs, gris foncé et gris que dans le sud des Prairies; la principale raison est une réduction marquée des mises en jachère et la substitution de certaines cultures annuelles par des cultures fourragères.

Dans les Prairies, le nombre de producteurs qui recourent au travail de conservation et réduisent les jachères augmente considérablement. Il est donc raisonnable d'avancer que le risque d'érosion éolienne y a diminué d'environ 5 à 10 % depuis 1991.

Érosion hydrique

Au Canada, l'adoption de pratiques de conservation a fait baisser de 11 % le risque d'érosion hydrique entre 1981 et 1991. Cette baisse est due, en parts à peu près égales, au travail de conservation (6 %) et à la modification des pratiques culturales (5 %). Au niveau régional, le risque avait diminué de 11 % dans les Prairies et de 16 % dans le centre du Canada. Le risque s'est accru de 0,5 % dans les Maritimes. Le tableau 7-4 indique les baisses observées quant au risque d'érosion par province.

Au niveau des pertes de sol, les écarts régionaux sont causés par la diversité des systèmes culturaux, par l'adéquation variable de certaines pratiques de conservation liées à ces systèmes et par des mesures anti-érosives. Par exemple, la production à grande échelle de pommes de terre fait courir à la plus grande partie des Maritimes un risque élevé d'érosion hydrique, qui augmente avec l'accroissement de la superficie ainsi cultivée. Certains régimes de travail de conservation, aussi profitables soient-ils pour d'autres cultures, ne conviennent pas à la pomme de terre, qui exige un rechaussage. Les mesures de conservation qui conviennent à la production de la pomme de terre sont le labour ciseau, la culture en pente transversale ou en courbes de niveau, la culture en terrasses et la *rotation étendue*.

Tableau 7-4 Réduction du risque réel d'érosion hydrique par hectare entre 1981 et 1991

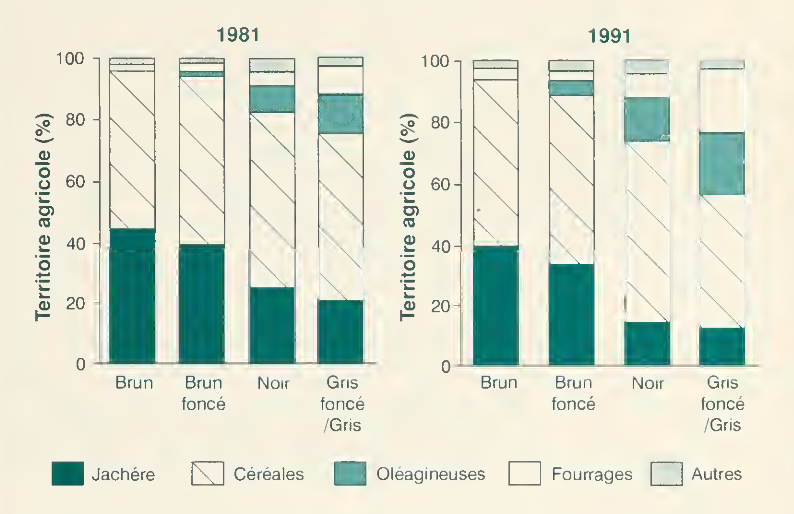
Province	Superficie cultivée en 1991 (millions d'hectares)	Réduction de l'érosion par hectare (%)		
		Grâce à une pratique culturale	Grâce à une méthode de travail du sol	Total
Colombie-Britannique	0,61	7	10	17
Alberta	11,06	5	8	13
Saskatchewan	19,17	5	3	8
Manitoba	5,06	6	9	15
Ontario	3,48	10	11	21
Québec	1,65	3	3	6
Nouveau-Brunswick	0,12	2	4	6
Île-du-Prince-Édouard	0,16	–9	3	–6
Nouvelle-Écosse	0,11	–3	3	0
Canada	41,42	5	6	11

En outre, étant donné l'échelle des analyses et la difficulté d'obtenir les données nécessaires, le calcul des effets des pratiques de gestion sur l'érosion ne tenait pas compte des avantages des aménagements anti-érosion, telles les terrasses et les voies d'eau gazonnées. De 1981 à 1991, quelque 1 500 hectares ensemencés en pommes de terre dans l'Île-du-Prince-Édouard et environ 3 000 hectares du Nouveau-Brunswick ont été protégés par des terrasses de dérivation à pente variable, des voies d'eau gazonnées ou une culture en bandes alternantes. Comparativement aux méthodes classiques de culture dans le sens de la pente (*voir* le chapitre 4), ces méthodes réduisent jusqu'à 90 % les pertes de sol dans les champs de pommes de terre.

Le risque de perte de sol demeure inchangé en Nouvelle-Écosse, où les gains dérivés du travail de conservation ont été contrebalancés par une intensification de la production de petits fruits, de raisins et de légumes. Les pertes causées par l'érosion hydrique ont diminué de plus de 10 % en Colombie-Britannique, en Alberta, au Manitoba et en Ontario, où l'on trouve près de 50 % des terres cultivées du pays.

L'assolement dans les Prairies

Le régime d'assolement a un effet important sur la susceptibilité d'un sol à l'érosion. Certaines cultures peuvent aggraver le risque d'érosion, par exemple les plantes oléagineuses et les cultures spéciales cultivées en rangs. Par ailleurs, l'ensemencement de cultures fourragères vivaces ou la réduction de la jachère peuvent diminuer le risque d'érosion. Les graphiques ci-dessous illustrent l'évolution survenue entre 1981 et 1991 dans la proportion des cultures importantes exploitées dans les Prairies.



Régimes d'assolement dans les Prairies

(G.A. Padbury, AAC, Saskatoon, Sask.)

Évolution en Ontario et dans les provinces des Prairies

Nous avons combiné les données du *Recensement de l'agriculture* sur l'utilisation et la gestion des terres en 1981 et 1991 avec des données sur les sols et les paysages tirées des cartes des pédo-paysages provinciaux, pour repérer les endroits où l'application de mesures de conservation du sol s'est avérée le plus efficace dans les provinces des Prairies et le sud de l'Ontario. La modification du risque d'érosion hydrique résultant d'une amélioration des pratiques de culture et de labour durant cette période est indiquée à la figure 7-7 pour les Prairies, et à la figure 7-8 pour le sud de l'Ontario.

Le risque d'érosion hydrique demeure tolérable dans une bonne partie des Prairies. Cependant, il continue de dépasser un niveau tolérable dans certaines portions de l'ouest du Manitoba et de l'Alberta. L'effet positif des pratiques anti-érosives est tout particulièrement évident sur les terres en pente de l'ouest de l'Alberta.

Dans le sud de l'Ontario, l'érosion hydrique est tolérable sur une bonne partie des terres agricoles marginales en pente douce. Cependant, elle demeure supérieure aux niveaux tolérables sur une bonne partie des terres inclinées soumises à une culture intensive dans le centre-sud de l'Ontario.

Programmes

Depuis une dizaine d'années, la popu-lation canadienne a été grandement sensibilisée au problème de l'érosion au Canada. De nombreux programmes gouvernementaux ont été et continuent d'être mis sur pied pour aider les producteurs à freiner l'érosion. Les autorités fédérales et provinciales, souvent en collaboration, ont techni-

Peace River
Edmonton
Calgary
Saskatoon
Regina
Winnipeg
Risque
Dépasse le risque tolérable, 1981
Dépasse le risque tolérable, 1991
Dépasse le risque tolérable, 1981 et 1991
Risque tolérable
Non évalué
Eau
décembre 1994

Figure 7-7 Modification du risque d'érosion hydrique dans les Prairies entre 1981 et 1991.

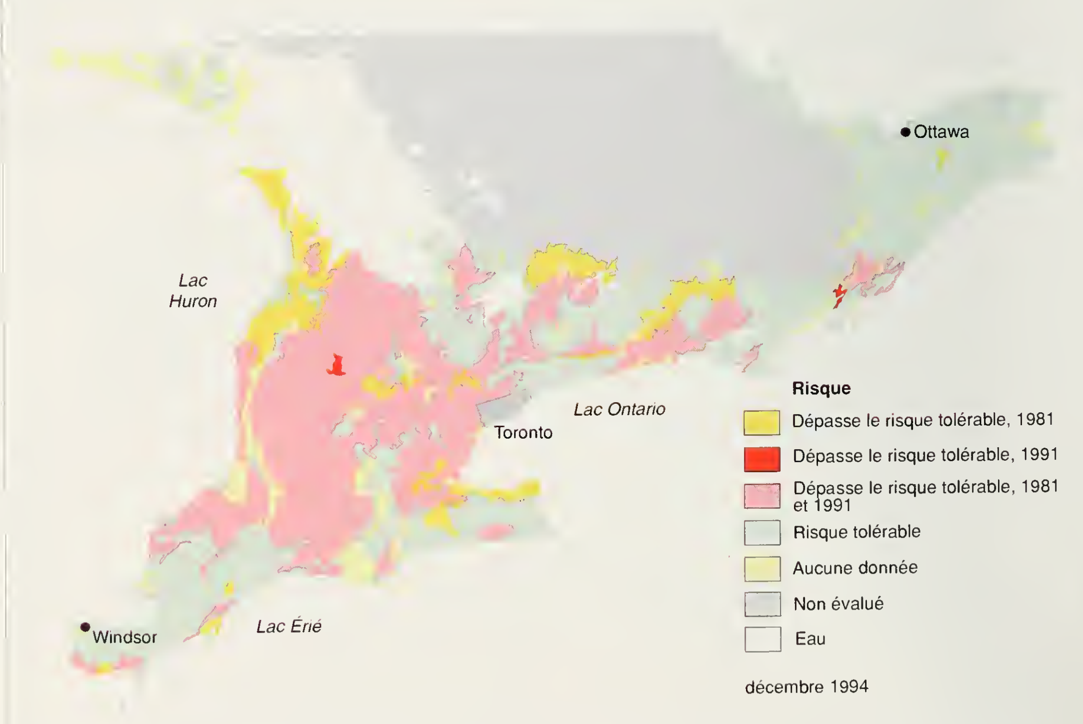


Figure 7-8 Modification du risque d'érosion hydrique dans le sud de l'Ontario entre 1981 et 1991.

quement et financièrement soutenu l'application de pratiques de gestion appropriées et ont subventionné l'achat d'équipement ou la construction d'ouvrages anti-érosion. Bien que certains programmes de lutte contre l'érosion existent depuis plusieurs années dans le cadre d'ententes fédérales-provinciales générales ou de programmes provinciaux, ce n'est qu'avec l'implantation du Programme national de conservation des sols (PNCS), en 1989, qu'un effort national a été déployé pour conserver les sols et, par conséquent, combattre l'érosion. Les mesures de conservation amorcées par le PNCS se sont poursuivies dans le cadre de programmes découlant du Plan vert. D'autres programmes de nature pédologique visent l'érosion :

- le Programme d'établissement d'une couverture végétale permanente dans les Prairies
- le Programme d'amélioration du milieu pédologique et aquatique (PAMPA), de l'Ontario
- les programes du Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada (Grand-Sault, N.-B.), pour les provinces atlantiques.

L'ARAP — 60 ans de conservation du sol

L'Administration du rétablissement agricole des Prairies (ARAP) s'occupe depuis 60 ans de conservation du sol. La création de l'ARAP aux termes de la *Loi sur le rétablissement agricole des Prairies* de 1935 faisait partie des mesures d'urgence prises par le gouvernement fédéral pour faire face aux graves conditions de sécheresse et de dégradation du sol qui sévissaient alors dans les Prairies.

Durant ses premières années, les activités de l'ARAP visant la conservation du sol étaient mises en oeuvre par le personnel des fermes expérimentales, qui ont élargi leur rôle de chercheurs pour faire la démonstration et la promotion des techniques qu'ils avaient mises au point. Après 1946, l'ARAP a limité ses travaux de conservation aux programmes de pépinières et de pâturages collectifs. Durant les années 1950, en raison de l'amorce d'un cycle météorologique plus humide et d'une expansion des marchés, on a davantage mis l'accent sur la production végétale, au détriment de la santé des sols. L'assèchement du climat et l'absence de couverture végétale dans de nombreux champs ont entraîné, vers la fin des années 1970 et le début des années 1980, une grave dégradation du sol.

En 1981, l'ARAP a commencé à étendre son rôle dans la conservation des sols et, deux années plus tard, produisait un rapport sur l'état de la ressource pédologique intitulé *Land degradation and soil conservation issues on the Canadian prairies*. En raison de l'inquiétude croissante suscitée par l'état des sols, on a inclus le thème de la conservation des sols dans les Accords de développement économique et régional signés en 1984. Le travail de conservation des sols de l'ARAP consistait à fournir sur place des services (techniques et financiers) aux producteurs, à étudier la dégradation des sols régionaux et à faire l'éducation du public. Ces activités se sont poursuivies jusqu'au début des années 1990 sous l'égide du Programme national de conservation des sols.

Plus récemment, l'ARAP a été le principal organisme fédéral chargé de mettre à exécution les ententes agricoles découlant du Plan vert. Il s'agit de soutenir l'agriculture durable et de veiller à la protection des ressources pédologiques et aquatiques et de l'habitat faunique. Les pâturages collectifs de l'ARAP continuent de protéger environ 810 000 hectares de terres fragiles tout en servant de pacage à 210 000 bestiaux et autres animaux de ferme. Environ 80 % de ces pâturages sont constitués de grands pâturages libres, qui représentent une importante contribution à l'habitat faunique et à la biodiversité des Prairies.

(Glen Shaw et Malcolm Black, ARAP, Regina, Sask.)

Réaction des producteurs aux programmes

Grâce à ces programmes et aux autres activités anti-érosion mises de l'avant par des groupes d'intérêt et les gouvernements, des milliers d'agriculteurs sont aujourd'hui mieux informés sur les problèmes d'érosion du sol et ont appliqué des mesures de conservation sur une bonne partie du territoire cultivé au Canada. Par exemple :

- le Programme d'établissement d'une couverture végétale permanente, dans les Prairies, a permis de convertir en couverture permanente 500 000 hectares de terres marginales
- en 1991, on a signalé l'aménagement de coupe-vent, totalisant 84 000 km de longueur, dans 13 % des exploitations agricoles canadiennes
- la méthode du semis direct est employée sur plus de 0,6 million d'hectares en Alberta
- en Ontario, 1,1 million d'hectares ont bénéficié de mesures de conservation du sol et de l'eau dans le cadre du Programme de gestion des terres II, un résultat supérieur aux objectifs visés.

On s'attend à ce que les pratiques de conservation gagnent toujours en popularité et que les pertes de sol par érosion continuent de diminuer. Le

rythme des améliorations à venir dépendra de l'expérience et de la confiance des producteurs vis-à-vis des techniques de conservation du sol, et de l'accessibilité de ces techniques.

Conclusions

Pour protéger les sols contre l'érosion, on peut changer l'assolement, le système de labour et les méthodes d'arrosage. L'implantation de ces moyens de lutte a permis de diminuer de 10 % le risque d'érosion par le vent et par l'eau au cours des 10 dernières années au Canada. La baisse continue du risque d'érosion des sols aidera à maintenir et à améliorer leur qualité. Par ailleurs, la qualité de l'eau améliorera les terres agricoles, en autant que les sols et les produits agrochimiques seront retenus sur les fermes et ne disparaîtront pas dans les cours d'eau.



Salinisation du sol

R.G. Eilers, W.D. Eilers, W.W. Pettapiece et G. Lelyk

Points saillants

- La salinisation est le processus par lequel les sels s'accumulent dans le sol; la salinité du sol nuit à la croissance des plantes en diminuant leur capacité d'absorber l'eau.
- D'après une nouvelle carte de la salinité des sols des Prairies, la majorité (62 %) des terres agricoles des Prairies sont salines sur moins de 1 % de leur superficie; 36 % sont salines sur 1 à 15 % de leur étendue, et 2 % sur plus de 15 %.
- Selon une étude du risque de salinité basée sur un indice de salinité récemment mis au point, les pratiques agricoles actuelles risquent peu d'accroître la salinité de la majeure partie du territoire agricole des Prairies (61 % au Manitoba, 59 % en Saskatchewan et 80 % en Alberta).
- Le risque de salinisation était moindre sur un cinquième du territoire agricole manitobain en 1991 par rapport à 1981, probablement grâce au recouvrement des terres marginales et à l'accroissement des cultures continues.
- La mise en jachère, la rotation culturale, le travail de conservation du sol, l'addition de matière organique et la culture de plantes tolérantes au sel sont des méthodes culturales qui contribuent à réduire la salinité du sol.

Introduction

De nombreux sols des Prairies contiennent des concentrations naturellement élevées de sels hydrosolubles, notamment de sulfates de sodium, de calcium et de magnésium. Ces sels sont produits par une action chimique exercée sur les minéraux des couches supérieures du till glaciaire qui sous-tend les sols de cette région. Par le processus naturel de *salinisation*, ces sels peuvent se concentrer à la surface du sol et y causer un état appelé *salinité du sol.*

Dans un sol salin, la couche d'enraci-nement contient suffisamment de sels dissous pour perturber la croissance des végétaux. La salinité est principalement déterminée par la présence et le mouvement de l'eau dans le sol. Le degré de salinité du sol peut être modifié par tout processus qui influe sur le bilan d'eau dans le sol, dont la géologie, l'hydrologie (eau), le climat (spécialement les tendances à long terme des précipitations), le couvert végétal et les pratiques agricoles privilégiées dans une région.

Situation actuelle au Canada

Dans le sud des Prairies, la salinisation constitue un problème dans de nombreux secteurs. Une salinité modérée à forte qui persiste de façon plus ou moins visible dans le paysage fait diminuer d'environ 50 % le rendement annuel de la plupart des cultures céréalières et oléagineuses. Au fil des ans, les chercheurs ont souvent

En déferlant vers l'ouest avec ses guerriers asiatiques, Attila le Hun intimidait ses ennemis en menaçant de jeter du sel sur leurs terres.

Hans Jenny
The Making and Unmaking of a Fertile Soil in Meeting the Expectations of the Land

Lieux repères

La salinité des sols fait l'objet d'une surveillance saisonnière et annuelle dans divers sites de recherche et de démonstration disséminés dans les Prairies, et plus particulièrement dans sept lieux repères créés sous l'égide du Programme national de conservation des sols (*voir* le chapitre 4). Ces sites, qui diffèrent quant à leurs caractéristiques géologiques, hydrologiques et climatiques, représentent les principaux paysages agricoles touchés par la salinisation. Ils sont surtout ensemencés en cultures annuelles. Les résultats préliminaires des travaux de surveillance indiquent que la salinité varie davantage à l'intérieur d'une saison que d'une année à l'autre. Dans les quatre années écoulées depuis le début du programme, la salinité globale des sites n'a apparemment pas varié.

(R.G. Eilers, AAC, Winnipeg, Man.)

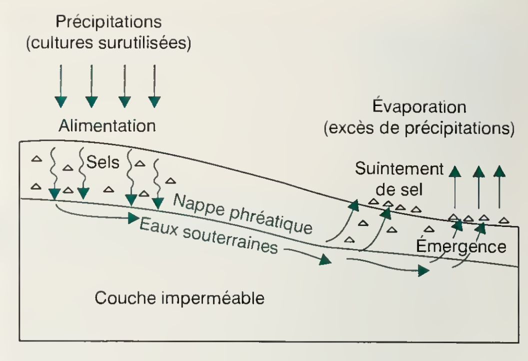


Figure 8-1
Salinisation des sols au bas d'une pente. La *zone d'alimentation* reçoit les précipitations. L'eau pénètre dans le sol et, si elle n'est pas assimilée par les végétaux, atteint les eaux souterraines. Celles-ci dissolvent les sels et les transportent dans la *zone d'émergence* où l'apport en eau souterraine fait s'élever la nappe phréatique jusqu'à la *frange capillaire*, au travers de laquelle l'action capillaire, telle une éponge, fait remonter l'eau à la surface du sol. L'évaporation de l'eau cause l'accumulation de sel.

tenté d'enregistrer le type, l'étendue, la gravité et la vitesse d'évolution de la salinité des sols dans les Prairies, mais la diversité des méthodologies a produit des estimations divergentes. Dans ce chapitre, nous décrivons la première tentative faite pour décrire de manière uniforme la salinisation dans les Prairies et établir une référence à laquelle on pourra comparer les futures mesures de la salinité. Cette évaluation visait les objectifs suivants :

- faire le point sur l'étendue et la gravité de la salinisation des sols
- évaluer les risques de modification du degré de salinité associés aux pratiques actuelles d'utilisation et d'aménagement des terres agricoles, et déterminer leur évolution depuis 10 ans.

Secteurs et signes de salinisation

La salinisation résulte d'une conjugaison des facteurs suivants :

- présence dans le sol de sels solubles
- nappe phréatique élevée
- taux d'évaporation élevé (l'évaporation de l'eau à la surface du sol est plus rapide que l'apport des précipitations).

On trouve souvent ces caractéristiques dans les dépressions et les parcours de drainage, au bas des pentes (fig. 8-1) et dans les basses terres à relief plat qui sont adjacentes aux bourbiers et aux plans d'eau peu profonde. La salinisation peut être généralisée dans les secteurs situés dans la zone d'émergence des eaux souterraines.

Signes de salinisation du sol

Quelquefois, il est possible de repérer les sols salinisés avant que le problème ne soit grave. Voici quelques signes précurseurs :

- croissance soudaine des cultures, d'où des rendements élevés
- augmentation de l'humidité du sol, au point de rendre les lieux inaccessibles
- apparition de mauvaises herbes tolérantes au sel (comme la kochia à balais, *Kochia scoparia*) parmi les plantes cultivées.

Les signes deviennent plus évidents à mesure que la teneur en sels augmente :

- croissance irrégulière des cultures et manque de vigueur des plants (fig. 8-2A)
- croûtes blanches en surface (fig. 8-2B)



Fig. 8-2
A) Croissance irrégulière des cultures en sol salin
B) Croutes blanches de sel en surface
C) Taches de sel en forme de cercles brisés autour d'un bourbier
D) Stries de sel au sol
E) Passe-pierre poussant dans un sol salin
F) Évaluation de la tolérance des cultures en sol salin

- apparition de cercles de sel brisés, au voisinage des plans d'eau (fig. 8-2C)
- formation de points et de stries de couleur blanche sur le sol, même en l'absence de croûtes en surface (fig. 8-2D
- présence de végétation naturelle tolérante au sel, comme le passe-pierre (*Salicornia rubra Nels*, fig. 8-2E).

Effets de la salinisation

La présence dans le sol de fortes teneurs en sel a le même effet que la sécheresse, en réduisant la quantité d'eau assimilable par les racines des plantes. Cet effet résulte de la différence des concentrations de sel entre les végétaux et le sol (le *gradient osmotique* créé entre le sol et la plante empêche l'absorption de l'eau par les racines et, s'il est suffisamment élevé, provoque le dessèchement de la plante). Selon le degré de salinité, cet effet réduit

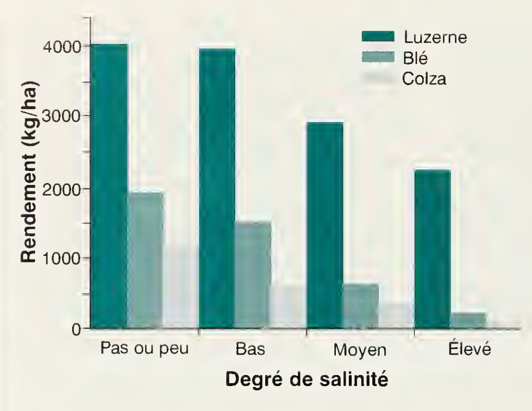


Figure 8-3
Effet de la salinité du sol sur le rendement des récoltes.

la capacité de croissance des cultures et diminue les rendements annuels (fig. 8-3).

Comme peu de végétaux poussent bien dans un sol salin, les options d'assolement qui s'offrent à l'agriculteur sont limitées. L'*analyse de la tolérance des récoltes*, qui mesure la capacité d'une culture à pousser dans un sol salin, sert à déterminer les cultures qui sont le moins touchées par la salinité (fig. 8-2F) et à établir des stratégies d'assolement appropriées pour les sols salins.

En outre, la salinisation altère la qualité des eaux superficielles et des eaux souterraines peu profondes, comme les étangs, les bourbiers et les mares artificielles. L'évaporation peut concentrer le sel dans ces eaux à des niveaux qui menacent la santé du bétail et des animaux sauvages. Les eaux très salines sont dangereuses pour les populations de poissons d'eau douce et font fuir la sauvagine.

État de la salinité des sols

Cartographie de la salinité

En 1990, des chercheurs d'Agriculture Canada ont évalué l'étendue de la salinité de modérée à grave dans chacune des provinces des Prairies. L'information tirée des cartes de salinité existantes a été regroupée, évaluée par des spécialistes et vérifiée sur place par des pédologues de la région des Prairies. On a ensuite dressé une carte montrant l'emplacement et l'étendue approximatifs du phénomène de salinisation des sols dans les Prairies (fig. 8-4).

La majeure partie (62 %) du territoire agricole des Prairies est peu salin (moins de 1 % des terres touchées). En général, les zones peu salines présentent des sols bien drainés et on les trouve :

- sur des hautes terres très étendues (collines Cypress [Sask.] colline Turtle [Man.])
- sur des sols sableux qui se drainent rapidement (monts Great Sand [Sask.])
- à proximité de cours d'eau profonds qui aident à drainer le sol des terres adjacentes
- dans les régions septentrionales, où les sols formés en milieu forestier sont humides.

Environ 36 % des sols agricoles des Prairies sont modérément salins (de 1 à 15 % des terres sont touchées). Il s'agit surtout de sols à texture moyenne avoisinant de petites terres humides ou des bourbiers, ou situés dans des cours de drainage et des dépressions.

Les secteurs où l'on trouve davantage de sols salins sont relativement peu étendus et dispersés dans le sud des Prairies. Souvent, ils sont situés dans la *zone d'émergence des eaux souterraines* (remontée des eaux souterraines à la surface), comme c'est le cas des plaines presque plates présentes à la base d'importantes hautes terres (collines Hand [Alb.]; mont Moose [Sask.]; colline Turtle [Man.]) ou à un endroit où l'écoulement provient de grands *aquifères* (formations géologiques contenant de l'eau mobile en abondance) et au drainage limité (lacs Quill [Sask.] et bassin de la rivière Rouge [Man.]).

Risque de salinisation

On dit souvent que la salinisation des sols de l'Ouest canadien est surtout attribuable aux pratiques agricoles. Il est vrai que le choix du régime d'assolement peut redistribuer l'eau d'un paysage (en modifiant la végétation, l'infiltration de l'eau dans le sol et le ruissellement), et, de ce fait, aggraver le phénomène de salinisation naturelle du sol. Cependant, l'agriculture n'est qu'un facteur parmi de nombreux autres; habituellement, la salinisation est le fait exclusif de facteurs physiques et environnementaux naturels.



Figure 8-4 Salinité superficielle des sols agricoles des Prairies, 1991.

On peut répartir en deux grandes catégories les facteurs qui déterminent la fréquence, l'étendue et le degré de salinisation des sols :

1) les facteurs à long terme, qui demeurent plus ou moins inchangés comme
   - les matériaux originels dans les couches géologiques
   - la topographie du paysage
   - le drainage du sol
   - l'hydrologie des eaux souterraines
   - les conditions climatiques régionales à long terme
2) les facteurs à court terme, susceptibles de changer, notamment
   - les précipitations
   - l'évaporation
   - l'utilisation des terres
   - les pratiques agricoles.

La modification de l'un ou l'autre de ces facteurs peut changer la salinité du sol et peut également servir à prévoir les degrés de salinité dans une région donnée.

Indice du risque de salinité

Nous avons élaboré un *indice du risque de salinité* (IRS), correspondant à la possibilité qu'un secteur présente un degré donné de salinisation. Nous avons employé cet indice pour déterminer si les pratiques agricoles aggravent le problème. Cet indice sera validé et raffiné à mesure qu'on comprendra mieux les facteurs qui causent la salinisation du sol.

Compte tenu des régimes d'assolement pratiqués en 1991, 61 % environ du territoire agricole au Manitoba court un risque faible ou inexistant de modification du niveau de salinité. Les proportions sont de 59 % en Saskatchewan et 80 % en Alberta (fig. 8-5 et tableau 8-1). Ces terres peuvent déjà être assujetties à une gestion limitant la salinisation (ex. couverture végétale



Figure 8-5 Risque de salinisation des sols agricoles des Prairies, 1991.

Tableau 8-1 Superficie du territoire agricole menacé par une augmentation de la salinité (%)

Degré de risque[1]	Région des Prairies	Manitoba	Saskatchewan	Alberta
Faible	66	61	59	80
Modéré	27	25	34	17
Élevé	7	14	7	3

[1] Selon un indice de risque de salinité (IRS)

permanente ou jachère minimale). Par ailleurs, dans le reste des terres agricoles de ces provinces, le risque d'accroissement de la salinité varie de modéré à élevé, toujours selon les régimes culturaux de 1991. On ne doit pas en conclure qu'il y a eu augmentation de la salinité, mais plutôt que les régimes culturaux actuels risquent fortement de mener à une telle augmentation.

Modification du risque de salinité

L'IRS peut servir à faire des comparaisons interannuelles. Nous avons comparé les valeurs de risque pour le Manitoba en 1991 à celles de 1981, et cartogaphié pour cette période décennale les changements de catégorie de risque (fig. 8-6; des évaluations analogues sont en préparation pour la Saskatchewan et l'Alberta). Le tableau 8-2 résume le risque de modification de la salinité. En 1991, les régimes d'assolement en vigueur sur la plus grande partie du territoire agricole

Tableau 8-2
Changement de catégorie du risque de salinité pour les terres salines du Manitoba, selon une modification du régime d'assolement entre 1981 et 1991

Changement du risque de salinité	Proportion du territoire agricole (%)
Aucun changement ou changement de moins d'une catégorie	80
Diminution du risque équivalent à une catégorie	19
Accroissement du risque équivalent à une catégorie	1

(80%) n'entraînaient aucune modification significative du risque de salinité, peut-être parce qu'une proportion relativement faible du territoire agricole manitobain est en jachère et que la superficie sous couverture permanente a relativement peu changé. Une modification de l'assolement a amoindri le risque de salinisation sur 19% des terres, dont la plupart sont situées entre le lac Manitoba

Établissement d'un indice du risque de salinité

L'indice du risque de salinité (IRS) sert à classer des étendues de terrain selon la probabilité d'une modification du niveau de salinité. Dans l'établissement de cet indice, les facteurs à long terme qui influencent la salinité ont été considérés comme étant constants, en raison de leur lente évolution. Malgré la variation intersaisonnière et interannuelle du climat — un facteur à court terme —, nous avons établi dans notre évaluation que les facteurs climatiques (précipitations et évaporation) sont constants à court terme, en employant une valeur d'*aridité* moyenne (précipitation moins évaporation). Le mode d'utilisation des terres, combiné aux pratiques agricoles, était donc le seul facteur variable dans le temps.

Les facteurs suivants ont été pris en considération dans l'établissement de l'indice du risque de salinité :

- étendue actuelle de la salinisation (selon les cartes de salinité existantes)
- déclivité du terrain (représentant la topographie)
- drainage du sol
- aridité (représentant les précipitations et l'évaporation)
- couvert superficiel (représentant les pratiques d'utilisation et de gestion des terres).

Nous avons attribué à ces facteurs des valeurs de risque relatif, que nous avons ensuite combinées pour produire une valeur IRS pour chaque secteur. Ces valeurs ont ensuite été regroupées en catégories de risque relatif et cartographiées (fig. 8-5).

(R.G. Eilers, AAC, Winnipeg, Man.)

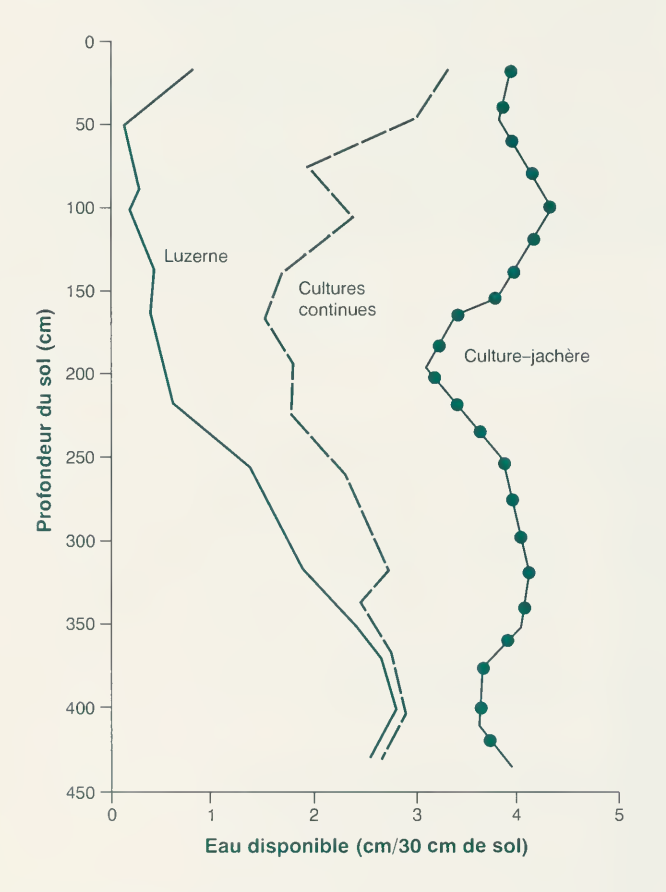


Figure 8-6
Changement du risque de salinisation des sols agricoles du Manitoba entre 1981 et 1991.

Diminution de l'humidité du sol

C'est une énigme de la nature que dans les Prairies, une région très vulnérable aux sécheresses, on trouve également des secteurs où une surabondance d'eau dans le sol entraîne des problèmes de salinisation. Une manière efficace de pallier cette situation est de planter des cultures qui réduisent l'humidité du sol.

La luzerne est une plante fourragère vivace dont les racines s'enfoncent très profondément dans le sol (plus de 5 mètres). On constate, dans le graphique ci-joint, que la culture de la luzerne réduit deux fois plus que la monoculture — et quatre fois plus qu'un régime culture-jachère — la quantité d'eau disponible pour les végétaux. En ensemençant en luzerne les sols salins et les champs adjacents, on peut abaisser suffisamment la nappe phréatique pour réintroduire une culture annuelle (ex. une céréale) dans la rotation, après 5 ans. La culture alternée de luzerne doit toutefois se poursuivre durant plusieurs années pour préserver les acquis.



Humidité disponible dans le sol sous divers assolements (source : Anon., 1991).

(L.J. Gregorich)

et le lac Winnipeg. La baisse du risque s'explique probablement par la reconversion des terres cultivées en couverture permanente et par une intensification de la monoculture. Enfin, la modification de l'assolement a fait augmenter le risque de salinité dans quatre petits secteurs entre 1981 et 1991. Les changements illustrés au tableau 8-2 ne constituent pas une tendance; ils sont les résultats d'une comparaison de données représentant deux points dans le temps.

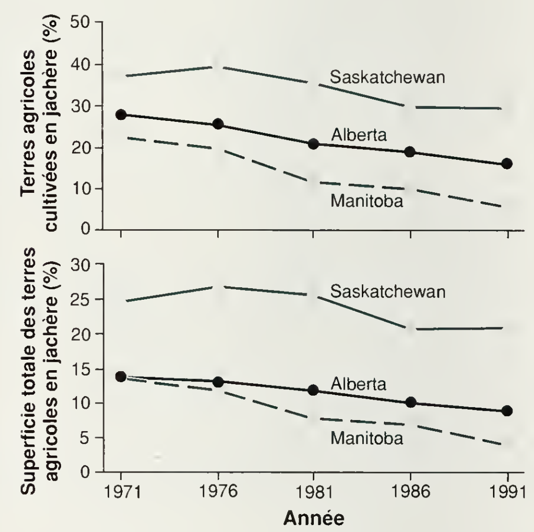


Figure 8-7
Superficie agricole des Prairies en jachère.

Tendances en matière d'utilisation des terres

La mise en jachère est couramment considérée comme une cause importante de salinisation. La portion des terres agricoles et cultivées mises en jachère a décliné dans les trois provinces des Prairies entre 1971 et 1991 (fig. 8-7). On peut donc raisonnablement s'attendre à une baisse conséquente du risque de salinisation imputable à la mise en jachère durant cette période; d'autres recherches fondées sur l'IRS sont prévues.

Solutions au problème de la salinisation

Pour améliorer la gestion et l'utilisation des terres salinisées, les décideurs, les

planificateurs et les producteurs devront adopter une nouvelle attitude. Réduire le degré et l'étendue de la salinisation des sols consiste surtout en un problème de gestion des eaux. Une bonne gestion des ressources en eau implique à la fois que l'on empêche l'eau reçue dans les aires d'alimentation de percoler dans les eaux souterraines et que l'on maintienne à un niveau bas et sûr la nappe phréatique dans la *zone d'émergence*.

Les terres salines sont sensibles et réagissent différemment aux diverses pratiques d'aménagement. Le choix de méthodes culturales visant la restauration de sols salinisés dépend de la gravité de la salinisation, de son étendue et des caractéristiques locales. Il faut généralement privilégier une approche biologique, en faisant appel à des régimes particuliers d'assolement et de travail du sol. Les coûteuses solutions mécaniques, tel l'aménagement de réseaux de drainage souterrains, doivent être réservées aux terrains les plus touchés.

Gestion des apports d'eau

On peut empêcher l'eau de s'infiltrer dans le sol des zones d'émergence en dérivant l'eau de surface vers des étangs situés au bas des pentes. Cette eau relativement non salée peut servir à d'autres fins. En faisant assimiler par les végétaux l'eau qui pénètre dans le sol, on l'empêche de percoler jusqu'aux eaux souterraines. Les cultures fourragères et les plantes vivaces —spécialement la luzerne — peuvent alors jouer un rôle utile, en raison de leur saison de croissance plus longue et de leur capacité d'absorber une plus grande quantité d'eau que les plantes annuelles et ce, à une plus grande profondeur (voir l'encadré). Ainsi, les cultures fourragères empêchent l'accumulation d'eau souterraine, abaissent la nappe phréatique et assèchent le sous-sol. En outre, elles accroissent la teneur en matière organique du sol et en améliorent la structure, ce qui réduit le risque d'érosion.

Gestion de l'écoulement

Les pratiques de gestion ci-dessous aident à limiter le degré de salinité dans la zone d'émergence des eaux souterraines :

Tolérance au sel de cultures communes

Degré de salinité toléré		
Salinité nulle à faible	Salinité modérée	Salinité élevée à très élevée
Grandes cultures annuelles		
Soya Haricot sec Féverole Pois Maïs	Canola Lin Moutarde Blé Seigle d'automne1 Avoine Tournesol Orge1 Betterave à sucre	L'orge peut pousser, mais ces sols conviennent davantage aux plantes fourragères tolérantes au sel
Cultures fourragères		
Trèfle rouge Trèfle hybride Phléole des prés	Phalaris roseau Fétuque des prés Agropyre intermédiaire Agropyre à crête Brome Luzerne Mélilot1	Élyme étroite Élyme en jonc Agropyre à chaumes rudes[1] Agropyre allongé[2]

1 Cultures qui no tolèrent pas l'inondation, un phénomène commun dans certaines zones salines.
2 En conditions sèches, l'agropyre à chaumes rudes est plus tolérant que l'agropyre allongé.

(R.G. Eilers, AAC, Winnipeg, Man.)

- ensemencer des cultures tolérantes au sel (*voir* l'encadré) les terrains à risque modéré ou faible, où l'étendue ou la gravité de la salinisation est raison-nable
- réduire la mise en jachère par la culture continue (dans les terrains peu salins) ou par l'établissement d'une couverture végétale permanente et de cultures tolérantes au sel (dans les secteurs à risque élevé caractérisés par une salinisation grave et étendue)
- réduire le travail profond du sol par l'adoption de méthodes culturales de conservation, y compris le non-labour (le travail profond du sol peut faire remonter vers la couche arable le sel des couches plus profondes)
- planter des cultures fourragères ou des arbres près des plans d'eau pour favoriser l'absorption de l'eau du sol

Rétention de la neige

Le sud-ouest de la Saskatchewan est une région habituellement très chaude et sèche. Pour y cultiver avec succès les terres, les producteurs doivent adopter des pratiques qui favorisent une utilisation efficace et optimale de toutes les réserves d'eau disponibles, spécialement lorsqu'on délaisse les régimes classiques jachère-blé au profit de vastes rotations culturales basées sur un travail du sol réduit.

La neige, qui représente 30 % des précipitations dans cette région, est une source d'eau qu'il serait possible d'utiliser plus efficacement. Selon une étude réalisée sur 10 ans à la station de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Swift Current, les hautes bandes de chaume de céréales retiennent davantage la neige que le chaume court ou sur pied et la répartissent plus uniformément dans le champ. Cette pratique réduit au minimum l'accumulation d'eau en surface et diminue ainsi le risque de salinisation. Les bandes capte-neige constituées de chaume haut sont créées à la récolte, à l'aide d'un déflecteur ou d'une cisaille monté sur la faucheuse ou d'un bec cueilleur à coupe directe.

La rétention de la neige s'est avérée le plus avantageuse dans les années où la saison de croissance était sèche, les hausses de rendement atteignant alors jusqu'à 6,3 boisseaux à l'hectare. Compte tenu du coût de l'aménagement des bandes capte-neige, cette méthode rapporte un profit net moyen de 10 à 33 $ l'hectare, selon le prix du blé et l'intensité de fertilisation. Grâce à son faible coût et aux avantages économiques qu'elle comporte durant la plupart des années, cette technique représente une bonne solution pour les producteurs qui recourent à des régimes culturaux étendus en région sèche.

(Con Campbell, AAC, Swift Current, Sask.)

- retourner au sol le fumier et les résidus de culture (un sol plus riche en matière organique pourra retenir davantage d'eau et l'empêchera de se rendre jusqu'aux eaux souterraines)
- assurer une répartition uniforme de la neige dans les champs, pour prévenir la formation de flaques au printemps (*voir* l'encadré)
- installer des réseaux de drainage artificiels en certains endroits
- éliminer les infiltrations d'eau dans le sol qui sont associées aux canaux d'irrigation, aux mares artificielles et aux étangs.

Programmes spéciaux

Depuis 10 ans, divers programmes gouvernementaux et non gouvernementaux ont été établis pour limiter la dégradation des sols sur les terres marginales et pour mieux préserver les habitats naturels. Ces programmes ont contribué de diverses façons à réduire la salinisation :

- en faisant mieux connaître les causes de la salinisation
- en offrant des services de diagnostic à la ferme pour connaître les niveaux de salinité réels
- en encourageant les pratiques qui perturbent peu le sol et qui réduisent l'évaporation de l'eau contenue dans le sol
- en incitant les agriculteurs à établir un couvert végétal permanent sur leurs terres marginales ou à transformer ces dernières en habitats pour la faune.

Parmi les programmes du genre, citons notamment le Programme d'établissement d'une couverture végétale permanente, institué par l'Administration du rétablissement agricole des Prairies, l'entente Canada-Alberta pour une agriculture durable et respectueuse de l'environnement le programme Prairie Care de Ducks Unlimited.

Conclusions

La salinité est un problème permanent pour certains sols des prairies et on doit y apporter une attention constante si on veut maintenir et améliorer leur santé. Pour éviter que la salinité se répande et s'intensifie, il faut diminuer l'arrosage afin de réduire la quantité d'eau qui entre dans les eaux souterraines sous la zone d'alimentation et de maintenir le niveau de la nappe phréatique dans la zone d'émergence.

L'adoption de métodes culturales de conservation appropriées a permis de diminuer le risque de salinisation au cours des 10 dernières années. Dans les prairies, avec les pratiques culturales actuelles, moins de 1 % de la superficie de la plupart des terres agricoles souffre de salinité. Quant aux terres plus sérieusement atteintes par ce problème, il serait préférable d'utiliser de plus en plus des métodes culturales de conservation.



Contamination des sols agricoles

M.D. Webber èt S.S. Singh

Points saillants

- La contamination des sols agricoles par les pesticides ne représente pas un grave problème au Canada; les quelques cas localisés sont probablement causés par un épandage effectué au cours de la saison de croissance précédente ou avant l'interdiction des pesticides persistants, vers le milieu des années 1970.
- Les contaminants organiques non antiparasitaires contaminent peu le sol; celles qu'on a détectées se décomposent facilement dans le sols et ne semblent pas menacer les ressources agricoles ni l'environnement.
- De tous les contaminants inorganiques, les métaux lourds sont les plus préoccupants. Ils pénètrent dans les sols agricoles via les dépôts atmosphériques et les amendements (engrais, fumiers ou boues d'épuration); il faut donc limiter leurs concentrations dans le sol, peut-être en fonction de la capacité d'échange cationique du sol (capacité de retenir les ions des métaux lourds).
- L'épandage sur le sol des boues d'épuration, riches en matière organique et en éléments nutritifs pour les végétaux, est une bonne méthode de gestion des boues; on doit toutefois réglementer les concentrations de contaminants — spécialement de métaux lourds — présentes dans les boues et dans les sols ainsi traités.

Introduction

Certains sols contiennent des concentrations naturellement élevées de substances potentiellement toxiques (sélénium, plomb, etc.) causées par divers processus comme l'altération atmosphérique des minéraux. Cependant, la contamination des sols est en grande partie imputable à l'activité humaine, notamment à la pénétration de déchets industriels dans le sol par dépôt atmosphérique ou par épandage de produits agrochimiques et de boues d'épuration.

La contamination d'un sol peut réduire son potentiel agricole. On peut diviser les contaminants en deux groupes : 1) les *contaminants organiques*, qui contiennent du carbone; 2) les *contaminants inorganiques*, sans carbone. Les contaminants organiques les plus nocifs sont d'origine industrielle et incluent les pesticides agricoles. Dans le cas des contaminants inorganiques, les plus importants sont les métaux lourds qui, bien que présents à l'état naturel dans le sol, proviennent surtout de sources industrielles.

Plusieurs contaminants potentiels peuvent accroître la production agricole, mais deviennent dangereux lorsqu'ils sont trop abondants dans le sol. Ainsi, de faibles quantités de cuivre, de molybdène et de sélénium sont essentielles à la croissance des plantes et des animaux; toutefois, si ces métaux sont présents en

concentrations élevées, ils peuvent être toxiques. De même, les pesticides permettent d'améliorer le rendement agricole, mais ils peuvent menacer la santé humaine et animale et dégrader l'environnement. Au Canada, il est interdit d'utiliser la plupart des pesticides organochlorés (comme le DDT, le chlordane, l'aldrine et la dieldrine) à des fins agricoles à cause de leur persistance dans l'environnement et de leurs effets négatifs sur les chaînes alimentaires.

L'agriculture moderne prend appui sur la lumière solaire captée par des espèces végétales depuis longtemps disparues; nous la pompons, la transformons et la transportons sur nos terres sous forme de produits chimiques, et l'injectons à des fins chimiothérapeutiques dans nos champs qui s'épuisent.

Wes Jackson
Altars of Unhewn Stone

Dans ce chapitre, nous donnons de l'information sur les teneurs en contaminants organiques et inorganiques des sols agricoles. Nous traitons également de l'épandage des boues d'épuration municipales et de la contamination des sols.

Contaminants organiques

Les contaminants organiques comprennent de nombreux composés industriels. Certains, comme les pesticides agricoles, sont ajoutés intentionnellement au sol, alors que d'autres y pénètrent accidentellement, comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les biphényles polychlorés ainsi que les dibenzo-*p*-dioxines et les furannes polychlorés. L'analyse des teneurs en contaminants organiques fait appel à des techniques et à du matériel spécialisés et coûteux.

Avant la réalisation de notre étude, on possédait peu d'informations sur les concentrations de contaminants organiques dans les sols agricoles au Canada (on disposait seulement de données sur certains pesticides dans des sites expérimentaux). Pour enrichir ces données, nous avons analysé la concentration de 122 contaminants organiques (regroupés dans le tableau 9-1) dans les sols (principalement la couche arable) de huit sites repères nationaux de surveillance de la qualité des sols (sites 5, 9, 12, 13, 18, 19, 20 et 21; voir le chap. 4, fig. 4-1) et de six fermes sous culture intensive du sud de l'Ontario. Bien qu'elle n'illustre pas l'évolution chronologique des teneurs en contaminants organiques, cette analyse fournit des données de référence à partir desquelles on pourra faire des comparaisons à l'avenir.

Tableau 9-1 Concentration de quelques contaminants organiques dans les sols agricoles canadiens (selon le poids sec du sol)

Pesticides	**Composés non antiparasitaires**
Organochlorés : <35 ppb, sauf le DDT total (<70 ppm)	Biphényles polychlorés totaux : <0,2 ppm
Composés organophosphorés : <25 ppb	Hydrocarbures aromatiques polycycliques : <0,05 ppm, sauf le naphtalène (<1,2 ppm)
Herbicides neutres : <50 ppb, sauf le métolachlore (<120 ppb)	Éthers halogénés : <0,14 ppm
Herbicide du type phénoxy : <60 ppb	Benzènes chlorés : <0,06 ppm
Herbicides du groupe des carbamates : <0,15 ppm	Nitrosamines : <0,06 ppm
	Esters phtaliques : <1 ppm, sauf le phtalate de dibutyle et le phtalate de di (2-éthylhexyle) (<3,1 ppm)
	Phénols et crésols : <0,19 ppm, sauf le phénol (ppm) et le pentachlorophénol (<0,4 ppm)
	Composés hétérocycliques azotés et autres : <0,2 ppm

< = inférieur à ; ppm=parties par million; ppb=parties par milliard.
Source : Webber, 1994.

Pesticides

Sauf pour l'endosulfan (un insecticide non persistant dans le sol), la fabrication et l'utilisation des pesticides organochlorés sont interdites au Canada depuis le milieu des années 1970. Nous ne nous attendions pas à en détecter de fortes concentrations dans les sols. Des teneurs d'environ dix parties par milliard (ppb) sont considérées comme des *niveaux de fond* (concentrations présentes dans les sols où l'on n'a jamais épandu de pesticides organochlorés).

À quelques exceptions près, les teneurs en pesticides organochlorés étaient inférieures à 10 ppb dans les sols analysés. Les concentrations d'endrine étaient légèrement supérieures à 10 ppb dans la couche arable des sites repères de l'Île-du-Prince-Édouard et du Nouveau-Brunswick, et dans le sous-sol du site québécois. Pour la dieldrine, les teneurs excédaient à peine 10 ppb dans la couche arable de quatre fermes du sud ontarien. On a observé des concentrations d'environ 80 ppb d'endosulfan total dans la couche arable de deux fermes du sud de l'Ontario et au site repère de l'Île-du-Prince-Édouard. Les niveaux de DDT total dépassaient 100 ppb dans la couche arable des sites de l'Île-du- Prince-Édouard et du Nouveau-Brunswick, et dans trois fermes du sud de l'Ontario (plus de 70 parties par million (ppm) dans une de ces fermes).

Les niveaux élevés d'endosulfan total dans trois sites résultent probablement de l'emploi de thiodane durant la saison de croissance au cours de laquelle on a procédé à l'échantillonnage. Pour la dieldrine, les concentrations de plus de 10 ppb observées dans les sols sous culture intensive sont probablement le résultat de l'emploi massif de cet insecticide par le passé. Quant au DDT total, les fortes concentrations sont aussi probablement attribuables à une grande utilisation de ce pesticide avant le milieu des années 1970. L'échantillon contenant plus de 70 ppm de DDT total a été prélevé dans un verger de pommiers établi dans les années 1930; une telle teneur n'est pas inusitée dans la couche arable des terrains utilisés à cette fin (*voir* encadré).

Les sols des vergers

Tout au long du XXe siècle, une grande diversité de substances contenant des métaux, des composés organochlorés et des composés organophosphorés ont été mises à contribution dans la lutte contre les organismes nuisibles pour l'agriculture, y compris ceux qui affectent l'arboriculture fruitière. Un relevé effectué au début des années 1970 a permis de déceler des concentrations élevées de nombreux contaminants dans le sol des vergers ontariens.

Concentrations de contaminants : sols de vergers et sols cultivés

Utilisation du sol	Plomb	Arsenic	DDT total
Verger de pommiers	247	40	43
Verger de cerises douces	109	30	2
Verger de cerises acides	71	23	2
Grande culture	14	6	–

Les concentrations de pesticides organochlorés persistants autres que le DDT étaient inférieures à une partie par million (1 ppm). On n'a détecté que des traces de deux composés organophosphorés (éthion et parathion).

(M.D. Webber. Centre technique des eaux usées. Burlington. Ont.)

Le seul pesticide organophosphoré décelé était le fonofos; des concentrations similaires ont été observées dans tous les sols échantillonnés. Les teneurs atteignaient jusqu'à 100 ppb, un niveau normal dans la grande production végétale, particulièrement pour combattre les espèces de tisseuses des racines du maïs).

La majorité des sols étudiés ne contenaient presque aucun herbicide neutre, du type phénoxy ou du groupe des carbamates. La persistance de ces herbicides dans le sol est peu nocive pour l'agriculture ou l'environnement. On a décelé dans la couche arable de deux sites du sud ontarien des concentrations de 118 ppb de métolachlore, un produit qui sert à réprimer les graminées dans les cultures en rang. La trifluraline, employée contre les graminées annuelles et les dicotylédones dans diverses cultures, notamment des fèves et du canola, était présente en concentrations de 145 et 167 ppb dans les sites repères de l'Alberta et du Manitoba. Le site albertain contenait 48 ppb de triallate, dont on se sert contre la folle avoine dans diverses

Les produits chimiques auxquels on demande aux organismes vivants de s'adapter sont ... des créations synthétiques de l'esprit inventif de l'homme, concoctées dans ses laboratoires et sans équivalents dans la nature.

Rachel Carson
Printemps silencieux

cultures. Quant aux herbicides du type phénoxy, ils demeuraient généralement en deçà de 25 ppb, mais on a noté quelques concentrations de 60 ppb.

Composés non antiparasitaires

Les sols agricoles des sites repères et ceux des sites du sud ontarien sont peu contaminés par les composés non antiparasitaires (tableau 9-1). Les composés décelés sont peu susceptibles de nuire à l'agriculture ou à l'environnement. À l'exception des biphényles polychlorés, les composés (naphtalène, esters phtaliques, phénol et pentachlorophénol) dont la teneur dépasse la *limite de détection* (LD : plus faible concentration d'une substance qui peut être mesurée avec précision par une méthode d'analyse donnée) se dégradent rapidement dans le sol.

Pour les biphényles polychlorés totaux, six sols présentaient une teneur supérieure à la limite de détection sans excéder 100 ppb. Pour le naphtalène, un hydrocarbure aromatique polycyclique, la LD de 50 ppb était dépassée dans 13 sols, dont un contenait 1,2 ppm. Les esters phtaliques dépassaient fréquemment les LD, mais les teneurs étaient supérieures à 1 ppm dans seulement trois cas pour le phtalate de dibutyle, et deux cas pour le phtalate de di(2-éthylhexyle) (la teneur maximale était de 3,1 ppm pour le phtalate de dibutyle). Les esters phtaliques, qui rendent le plastique flexible, sont des substances qu'on trouve couramment dans l'environnement; il se peut donc que les teneurs détectées résultent d'une contamination des échantillons lors des opérations de prélèvement, de préparation et d'analyse. Pour le phénol, 21 échantillons de sol dépassaient la LD (20 ppb) et cinq présentaient des teneurs supérieures à 150 ppb, mais aucun ne dépassait 1 ppm. Huit sols contenaient du pentachlorophénol, mais la teneur maximale observée était de 360 ppb. Le phénol est un produit de la décomposition de nombreuses substances, notamment des pesticides et de la matière organique, et le pentachlorophénol est un agent de préservation du bois très répandu. Il ne semble y avoir aucune corrélation entre les concentrations d'esters de phtalate, de naphtalène, de phénol et de pentachlorophénol et l'emplacement dans le profil du sol (couche arable ou sous-sol) ou le lieu d'échantillonnage sur les pentes (en haut, au milieu ou en bas de la pente).

Contaminants inorganiques

En général, la pénétration dans le sol des contaminants inorganiques est causée par l'activité humaine. Les contaminants inorganiques les plus nocifs sont les métaux lourds, soit l'arsenic, le cadmium, le chrome, le cobalt, le cuivre, le plomb, le mercure, le molybdène, le nickel, le sélénium et le zinc. Essentiels en petites quantités pour les végétaux et les animaux (tableau 9-2), ils peuvent nuire à la santé des végétaux, des animaux et êtres humains s'ils sont présents en

Tableau 9-2 Rôle des métaux lourds dans les fonctions des organismes végétaux et animaux

Élément	Essentiel ou bénéfique		Potientiellement toxique	
	Végétaux	Animaux	Végétaux	Animaux
Arsenic (As)	Non	Oui	Oui	Oui
Cadmium (Cd)	Non	Non	Oui	Oui
Chrome (Cr)	Non	Oui	Oui	dnd
Cobalt Co)	Oui	Oui	Oui	Oui
Cuivre (Cu)	Oui	Oui	Oui	Oui[b]
Plomb (Pb)	Non	Non	Oui	Oui
Mercure (Hg)	Non	Non	dnd[a]	Oui
Molybdène (Mo)	Oui	Oui	dnd	Oui[b] (5–20 ppm)
Nickel (Ni)	Non	Oui	Oui	Oui
Sélénium (Se)	Oui	Oui	Oui	Oui (4 ppm)
Zinc (Zn)	Oui	Oui	dnd	dnd

[a] dnd = données sur les limites ne sont pas disponibles
[b] Toxique pour les ruminants (ovins, bétail)
Selon Adriano, 1986

concentrations assez élevées. Ce sont des substances persistantes dont les effets négatifs se manifestent longtemps dans le sol; on doit donc limiter leurs concentrations dans ce milieu.

Niveaux de fond

Pour évaluer les quantités de métaux lourds qui pénètrent dans le sol à cause des activités humaines, il faut connaître les concentrations naturelles, ou niveaux de fond, de ces substances dans le sol. Dans un milieu pédologique naturel, la principale source de métaux lourds est le matériau originel qui a donné naissance au sol. Occasionnellement, des métaux lourds s'accumulent dans le sol sous l'effet de processus naturels. Ainsi, les zones d'émergence et les zones d'*infiltration d'eau saline* peuvent naturellement contenir des concentrations élevées de bore, de cadmium et de sélénium. Les concentrations de métaux présentes dans la couche arable des sols canadiens varient considérablement (fig. 9-1).

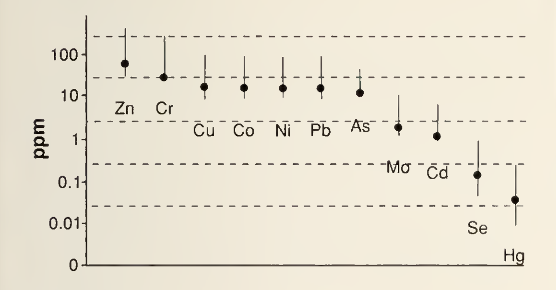


Figure 9-1
Concentrations (moyenne et fourchette) de métaux lourds dans la couche arable des sols canadiens.
(Sources : pour As et Mo : moyennes fournies par le ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario, 1994; fourchettes tirées de Kabata-Pendias et Pendias, 1992. Pour Cd : Giroux et coll., 1992. Pour les autres métaux : McKeague et Wolynetz, 1980).

Le cadmium dans le sol

De tous les métaux lourds, le cadmium est celui qui suscite le plus d'inquiétude pour les sols agricoles. Non essentiel à la croissance et au développement des animaux et des végétaux, il peut leur être toxique. Chez les animaux, il s'accumule dans le foie et les reins et peut causer des troubles rénaux.

Le cadmium est peu retenu par les éléments constituants du sol et est facilement assimilable par les végétaux. Une augmentation des concentrations dans le sol signifie donc un accroissement des concentrations dans les cultures. L'accumulation de cadmium dans le matériel végétal varie selon le type de culture et la partie de la plante. En général, le cadmium se concentre davantage dans les plantes latifoliées (à feuilles larges), les feuilles et les tiges que dans les herbacées et les graines. Les légumes latifoliés, comme la laitue et la bette à carde, accumulent plus de cadmium que la plupart des autres végétaux.

On estime que les concentrations actuelles de cadmium dans l'alimentation humaine et animale approchent les maximums acceptables. Les autorités canadiennes ont donc adoptés des lignes directrices et des règlements qui n'autorisent qu'une faible hausse de la teneur en cadmium du sol. Ces lignes directrices permettent le recyclage des déchets dans le sol (comme l'épandage des boues d'épuration) tout en préservant la qualité des produits alimentaires nécessaires aux marchés nationaux et internationaux.

(M.D. Webber, Centre technique des eaux usées, Burlington. Ont.)

Sources anthropiques de métaux lourds

La pénétration des métaux lourds dans le sol peut avoir plusieurs causes : industrie minière, métallurgie, emploi des combustibles fossiles, amendement du sol. Le tableau 9-3 indique les concentrations de métaux lourds imputables à divers amendements. Les fortes teneurs de métaux lourds dans les engrais phosphatés s'expliquent par l'origine bioaquatique de ces derniers; dans le cas du fumier, ils peuvent résulter de l'ajout d'additifs dans les aliments pour animaux; pour ce qui est des boues d'épuration, ils reflètent la composition des effluents domestiques et industriels. On craint que les métaux lourds soient absorbés par les cultures et, ultérieurement, s'introduisent dans la chaîne alimentaire humaine.

Limitation des apports de métaux lourds

De récentes études menées au Québec ont révélé que les concentrations de métaux lourds dans le sol varient selon la texture de ce dernier. Elles sont les plus élevées dans l'argile puis dans le loam argileux, le loam et le sable. Les concentrations moyennes de zinc et de cuivre dans ces

Tableau 9-3 Concentration de métaux lourds dans les amendements du sol (ppm, poids sec)

Amendement	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Superphosphate triple (0-46-0)	9	5	92	3	36	3	108
Urée (46-0-0)	<0,1	<1	<3	<0,4	<1	<3	<1
Chlorure de potassium (0-0-60)	<0,1	2	<3	<0,6	4	3	<1
Chaux agricole	<0,1	<1	<3	0,2	5	<3	<2
Fumier de vache	1	6	56	62	29	16	71
Boues d'épuration[a]	5	5	350	660	35	90	800

< = inférieur à
Selon Freedman et Hutchinson, 1981, sauf [a] Webber et Nichols, 1995.



Figure 9-2
Concentrations (ppm) de zinc et de cuivre dans des sols de diverses textures au Québec

(Selon Giroux et coll., 1992)

types de sols sont représentées à la figure 9-2.

Les concentrations de métaux lourds varient également en fonction de l'ordre du sol. Elles sont les plus élevées dans les gleysols et les luvisols, puis dans les brunisols et les podzols. La figure 9-3 indique les concentrations moyennes de zinc et de cuivre dans ces ordres de sol. Cependant, cette observation peut également être reliée à la texture du sol, puisque les sols les plus argileux sont généralement les gleysols et les luvisols, et ensuite les brunisols et les podzols.

Selon des chercheurs québécois, la concentration maximale de métaux lourds qu'un sol peut contenir devrait être fonction de sa capacité d'échange cationique, c'est-à-dire sa capacité de retenir les ions des métaux lourds. Comme la capacité d'échange cationique augmente avec la teneur en argile du sol, il est recommandé donc que les concentrations maximales de métaux lourds soient plus élevées dans le cas des sols à texture fine (comme l'argile et le loam argileux) que dans celui des sols à texture grossière comme le sable (tableau 9-4).

Tableau 9-4 Concentrations maximales recommandées (ppm) de métaux lourds dans les sols, selon la capacité d'échange cationique (CEC)

CÉC[a]	Cu	Co	Hg	Cd	Cr	Zn	Pb	Ni
CÉC>15	50	34	0,14	2,4	120	160	70	60
CÉC<15	25	17	0,17	1,2	60	80	35	30

[a] Milliéquivalents par 100 grammes.
Source : Giroux et coll., 1992.

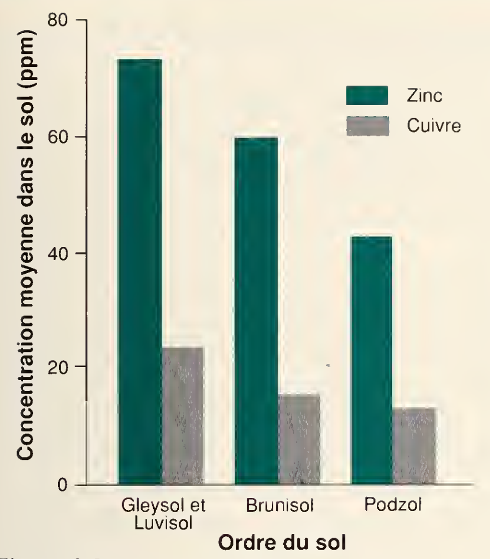


Figure 9-3
Concentrations de zinc et de cuivre dans trois types de sol au Québec.
(Selon Giroux et coll., 1992)

Épandage de boues d'épuration

Par boues d'épuration, on désigne les déchets solides issus du traitement des *effluents* (déchets liquides) domestiques et industriels rejetés dans les égouts. Ces boues peuvent contenir des concentrations extrêmement variables de contaminants métalliques et organiques, selon la nature et l'intensité de l'activité industrielle et le degré d'observation des lignes directrices relatives à la qualité des effluents. Au Canada, l'épandage de boues d'épuration municipales est une pratique courante dans le secteur agricole, qui consomme ainsi le tiers environ (120 000 tonnes, poids sec, par année) des boues produites au Canada et le cinquième environ (60 000 tonnes, poids sec, par année) de celles produites en Ontario. Cette méthode d'élimination des boues d'épuration est souvent la plus économique et la plus acceptable pour l'environnement. Elle a également l'avantage de retourner au sol la matière organique et de précieux éléments nutritifs, notamment l'azote et le phosphore. Cependant, on craint que les métaux lourds et les autres contaminants présents dans les boues d'épuration ne s'accumulent dans le sol et en réduisent le potentiel agricole.

L'épandage des boues d'épuration en Ontario

La municipalité régionale de Halton est située à l'ouest de Toronto (Ont.). Sa population de 250 000 habitants est desservie par sept stations d'épuration des eaux usées qui produisent annuellement 200 000 mètres cubes de boues d'égout municipales.

Malgré la présence de nombreuses industries dans trois villes de la région, soit Burlington, Oakville et Milton, toutes les boues d'épuration satisfont aux critères énoncés dans les *Lignes directrices sur l'utilisation des boues d'épuration dans les sols agricoles de l'Ontario*, grâce à une stricte observation des règlements sur l'utilisation des égouts. Les boues peuvent donc servir d'amendements agricoles dans la région.

Les boues liquides (qui contiennent environ 2,5 % de matières solides) sont fournies gratuitement aux agriculteurs. Des camions-citernes les transportent jusqu'aux sites d'épandage, où elles sont transvasées dans un véhicule épandeur qui les injecte dans le sol à une profondeur d'environ 10 centimètres. L'injection des boues permet d'éviter les problèmes esthétiques et les problèmes d'odeurs, le ruissellement et la perte d'azote causée par la volatilisation de l'ammoniac; elle a été approuvée par l'ensemble des producteurs et de la population. Les doses sont basées sur les besoins en azote des cultures, lesquelles sont au moins aussi productives que celles traitées aux engrais commerciaux. On n'a observé aucune hausse néfaste des concentrations de métaux dans les sols et les cultures traités aux boues d'épuration, mais on doit demeurer vigilants pour prévenir une accumulation excessive de métaux lourds.



Boues d'épuration stabilisées prêtes à être épandues

(M.D. Webber, Centre technique des eaux usées, Burlington, Ont.)

Tableau 9-5 Concentrations de métaux lourds dans les boues d'épuration et les sols au Canada (concentrations exprimées en ppm, poids sec)

Métal	Ratios types de la quantité de métaux dans les boues/ le sol[a]	Concentrations moyennes de métaux dans les sols non contaminés[b] (ppm)	Concentrations moyennes de métaux dans 10 sols ontariens fortement traités aux boues[c] (ppm)	Concentration maximale autorisée de métaux dans les sols traités aux boues[b]
As	0,3	7	dnd	14
Cd	7	0,8	1,1	1,6
Cr	23	15	dnd	120
Co	0,9	5	dnd	20
Cu	27	25	41	100
Pb	6	15	38	60
Hg	33	0,1	dnd	0,5
Mo	7	2	19 (1 seul échantillon)	4
Ni	2	16	27	32
Se	7	0,4	dnd	1,6
Zn	15	55	190	220

dnd: données non disponibles

Sources : [a] Concentration moyenne dans les eaux d'épuration (Webber et Nichols, 1995) divisée par la concentration moyenne dans les sols (colonne 3).

[b] Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario et ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1992.

[c] Webber et coll., 1983.

Contaminants métalliques

L'épandage de boues d'épuration accroît les concentrations de métaux dans le sol (tableau 9-5). On possède de très nombreuses données sur le sort et les effets des métaux dans le sol, et l'on a établi des critères pour protéger la qualité du sol. En Ontario par exemple, des limites régissent les concentrations de métaux dans les boues d'épuration et le sol, et des *charges de boues* admissibles maximales (quantité maximale de boues pouvant être épandue sans danger) ont été fixées selon les concentrations de métaux, tant dans les boues que dans le sol.

Contaminants organiques

Il est difficile et coûteux de mesurer les teneurs en contaminants organiques des boues d'épuration municipales. Pour cette raison, l'information à ce sujet est moins abondante que pour les contaminants métalliques. Toutefois, une analyse récente des boues d'épuration des municipalités canadiennes a révélé qu'elles contiennent peu de contaminants organiques (tableau 9-6). Compte tenu des restrictions actuelles en matière d'épandage des boues d'épuration (en Ontario, la norme est d'environ 40 tonnes de boues sèches par hectare sur 15 ans), il y a peu à craindre que cette pratique entraîne une grande accumulation de contaminants organiques dans les sols agricoles. Cette hypothèse est étayée par l'information limitée dont on dispose sur les teneurs en contaminants organiques des sols traités aux boues d'épuration (tableau 9-7).

Au Canada, il n'existe pas encore de lignes directrices sur les concentrations de contaminants organiques dans les boues d'épuration, sauf au Québec où la quantité de biphényles polychlorés dans les boues d'épuration destinées aux terres agricoles est limitée à 10 ppm; les boues qui en contiennent plus de 3 ppm doivent être injectées dans le sol, pour éviter l'ingestion directe par les animaux. En Ontario, on a proposé des lignes directrices pour assainir, en vue d'une utilisation agricole et autre, les sols touchés par une contamination industrielle. En combinant ces lignes directrices aux données sur les quantités de contaminants organiques présentes

Tableau 9-6 Concentrations moyennes de contaminants organiques dans les boues d'épuration municipales au Canada (exprimées selon le poids sec du sol)

- Contaminants organiques volatils : ND pour beaucoup; ≤2 ppm pour la majorité des autres; quelques dérivés du pétrole >2 mais <10 ppm; <45 ppm de toluène dans trois échantillons.
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques : <1 ppm pour la majorité; <5 ppm dans quelques cas; teneurs élevées mais <20 ppm dans un échantillon auquel une aciérie a fortement contribué
- Éthers halogénés : ND
- Benzènes chlorés : ND sauf pour le 1,2-dichlorobenzène <0,5 ppm et le 1,4-dichlorobenzène <3 ppm
- Nitrosamines : ND
- Esters phtaliques : <15 ppm sauf pour le phtalate de di(2-éthylhexyle), <250 ppm
- Phénols et crésols : ND pour beaucoup; les autres <1 ppm, sauf pour le phénol avec <10 ppm
- Composés hétérocycliques azotés et autres : ND pour beaucoup; nitrobenzène <5 ppm
- Pesticides organochlorés : ND sauf <0,1 ppm pour le gamma-BHC, l'hexachlorobenzène, le méthoxychlore et le DDT dans quelques échantillons
- Biphényles polychlorés totaux : <250 ppb
- Dibenzo-*p*-dioxines et furannes polychlorés : ≤36 ppb de furannes et de dioxines totaux; ≤120 ppt ÉT total

ND = non détecté; ≤ = égal ou inférieur à; ppt=parties par trillion
ÉT = équivalent toxique par rapport à la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-*p*-dioxine, selon les facteurs internationaux d'équivalence toxique.
Source : Webber et Nichols, 1995.

dans les boues canadiennes, on peut calculer le volume maximal de boues qui peuvent être épandues sur les terres agricoles. Le principal point à prendre en considération au moment de l'élaboration de lignes directrices sur la charge de boues est la possibilité que les contaminants présents dans les boues s'accumulent dans le sol et pénètrent dans la chaîne alimentaire. Il faut accorder une attention particulière aux contaminants suivants :

- le benzo-*a*-pyrène, un hydrocarbure aromatique polycyclique, est *carcinogène* (cause le cancer) et résiste à la dégradation; la charge maximale autorisée en sol agricole doit être faible (en Ontario, environ 2 kg/ha);
- le fluorène, un hydrocarbure aromatique polycyclique, n'est pas carcinogène et résiste beaucoup moins à la dégradation que le benzo-*a*-pyrène; on peut autoriser une charge maximale beaucoup plus élevée que pour le benzo-*a*-pyrène;
- le 2-méthylnaphtalène, un hydrocarbure aromatique polycyclique, n'est ni carcinogène ni résistant à la dégradation mais confère une odeur désagréable à l'eau; aucun apport n'est autorisé dans un sol où l'eau souterraine est utilisée par la population humaine;
- les dioxines et les furannes sont des substances hautement toxiques, carcinogènes et très résistantes à la dégradation; leur présence est beaucoup plus dissuasive pour l'emploi agricole des boues d'épuration que celle du benzo-*a*-pyrène;
- les biphényles polychlorés, qu'on croit carcinogènes, sont très résistants à la dégradation; comparativement au benzo-*a*-pyrène, leurs concentrations dans les boues d'épuration sont moins élevées et leur présence est moins dissuasive pour l'épandage agricole;

Tableau 9-7 Concentrations de quelques contaminants organiques dans des sols ontariens traités aux boues, d'épuration exprimées selon le poids sec

Sols	Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Pesticides organochlorés	Biphényles polychloré totaux
Sols agricoles recevant jusqu'à 25 tonnes de boues (poids sec) à l'hectare	<50 ppb[a]	<5 ppb[a]	<100 ppb[a]
Lieu d'épandage recevant de grandes quantités de boues	<500 ppb	<35 ppb	<800 ppb
Sols d'étude d'incubation en laboratoire recevant jusqu'à 200 tonnes de boues (poids sec) à l'hectare	≤1,1 ppb	<20 ppb	<200 ppb

[a] limite de détection
Source : Webber, 1994.

- le phtalate de di(2-éthylhexyle) et le toluène : malgré leurs concentrations potentiellement élevées dans les boues d'épuration, ces composés se dégradent rapidement dans le sol et limitent moins l'épandage au sol que le benzo-*a*-pyrène;
- l'endosulfan est un pesticide organochloré d'emploi courant en agriculture; la présence de faibles teneurs dans les boues est peu susceptible de limiter l'épandage.

Applicabilité agricole

Les boues d'égout contiennent de la matière organique et des éléments nutritifs nécessaires au maintien de sols en santé et à l'amélioration de la production végétale. L'épandage de boues d'épuration en milieu agricole est une pratique qui cadre bien avec les notions actuelles de recyclage des ressources et d'agriculture durable. Cependant, les boues d'épuration contiennent des contaminants qui peuvent altérer la qualité des sols agricoles. Bien que le resserrement des normes anti-pollution se soit soldé depuis quelques années par une amélioration de la qualité des boues d'épuration, il demeure nécessaire de limiter soigneusement les concentrations de contaminants dans les sols ainsi traités.

Les lignes directrices canadiennes sur les boues d'épuration restreignent la quantité de métaux lourds ajoutés aux sols agricoles. On étudie actuellement la nécessité de faire de même pour les contaminants organiques.

Conclusions

La contamination des sols agricoles au Canada par des contaminants pesticides et non pesticides ne représente pas un problème grave. Les pesticides qui sont actuellement utilisés ne sont pas persistants dans les sols et on en trouve des quantités peu importantes. Mais la contamination des sols par les métaux lourds est plus grave, parce que les métaux demeurent dans les sols et peuvent affecter la santé des plantes, des animaux et des humains.

L'application des boues d'égout sur les terres agricoles est sans doute une bonne méthode culturale, mais ces boues d'égout et d'autres déchets contiennent des contaminants qu'il faut éliminer. Actuellement, les métaux lourds sont réglementés et la réglementation des contaminants organiques est en période de révision.



Contamination agrochimique des eaux souterraines

W.D. Reynolds, C.A. Campbell, C. Chang, C.M. Cho, J.H Ewanek, R.G. Kachanoski, J.A. MacLeod, P.H. Milburn, R.R. Simard, G.R.B. Webster, B.J. Zebarth

Points saillants

- La pénétration diffuse de faibles concentrations de produits agrochimiques dans les eaux souterraines pose un risque sérieux, en raison de l'étendue du problème et de la difficulté de le contrer.
- Dans le sud littoral de la Colombie-Britannique, une région agricole exploitée de façon intensive et à forte pluviosité, les aquifères contiennent souvent des teneurs en nitrates supérieures aux concentrations maximales acceptables.
- La contamination agrochimique menace peu les Prairies; on y observe occasionnellement une contamination ponctuelle des puits domestiques et une contamination des eaux souterraines dans les secteurs où l'on recourt abondamment à la fumure ou à l'irrigation.
- Dans le centre du Canada, l'eau souterraine est surtout contaminée par les nitrates provenant des engrais et les bactéries du fumier. Elle contient souvent des pesticides, dont l'atrazine (résidus d'un emploi antérieur dans la culture intensive du maïs), presque toujours à un niveau bien inférieur aux concentrations maximales acceptables.
- Dans les Maritimes, la contamination des eaux souterraines touche surtout les régions de culture intensive de la pomme de terre et du maïs. Le lessivage des nitrates peut s'avérer un grave problème, quoique les taux semblent stables. Les pesticides décelés sont presque toujours bien en-deça des concentrations maximales acceptables.
- On peut limiter l'entrée de produits agrochimiques dans les eaux souterraines en utilisant de meilleures méthodes agricoles, notamment en pratiquant les cultures dérobées et les rotations culturales et en faisant preuve d'une plus grande efficacité dans les apports d'éléments nutritifs, de pesticides et d'eau d'irrigation.

Et notre eau, le solvant universel, présent dans l'air, dans le sol, dans les plantes, les animaux et l'homme. Sans elle, la vie est impossible.

J.A. Toogood
Our Soil and Water

Introduction

L'eau souterraine désigne l'eau présente sous la nappe phréatique dans les matériaux tels que les sols, les dépôts de sable et de gravier et les formations de l'assise rocheuse. On appelle *aquifères* les formations géologiques suffisamment étendues et perméables pour alimenter constamment en eau souterraine un ou plusieurs puits. Plus de six millions de Canadiens (26 % de la population) tirent leur eau potable de tels aquifères. En outre, dans de nombreuses régions du pays, l'eau souterraine est une importante source d'alimentation des cours

Utilisation des pesticides au Canada

Les pesticides sont des produits chimiques qui détruisent ou répriment les espèces végétales ou animales jugées indésirables (espèces nuisibles), lesquelles, autrement, nuiraient au rendement et/ou à la qualité des récoltes. Malgré l'existence de *biopesticides* (naturels), l'industrie agricole recourt aujourd'hui presque exclusivement aux pesticides synthétiques pour protéger les récoltes. Voici les pesticides les plus communs :

- herbicides (contre les végétaux, surtout les mauvaises herbes)
- insecticides (contre les insectes)
- fongicides (contre les champignons et les moisissures)
- nématocides (contre les nématodes)
- rodenticides (contre les rongeurs)
- acaricides (contre les acariens).

Au Canada, l'industrie alimentaire de première transformation génère annuellement 20 milliards $ de recettes. Ce montant chuterait radicalement si l'on ne faisait pas une utilisation régulière et généralisée des pesticides dans les grandes régions agricoles du Canada. D'ici à ce qu'on mette au point d'autres méthodes efficaces pour contrer les espèces nuisibles, les 190 millions $ consacrés annuellement au Canada aux pesticides (surtout les herbicides et les insecticides) demeureront une nécessité économique.

(W.D. Reynolds, AAC, Ottawa, Ontario)

d'eau. C'est donc une ressource précieuse qu'il faut protéger contre les substances chimiques nocives, dont les produits agrochimiques potentiellement nocifs.

Les engrais et les pesticides sont les principaux produits agrochimiques. Dans maintes régions du Canada, le rendement des cultures serait trop faible si l'on n'épandait pas régulièrement des engrais et des pesticides. Cependant, les pesticides et certaines composantes des engrais, comme les nitrates et les bactéries du fumier, peuvent nuire à la santé humaine et animale s'ils sont présents en concentrations suffisantes dans l'eau potable.

Le nitrate d'origine naturelle est une autre substance agrochimique importante, issue de la décomposition de la *matière organique* (résidus végétaux et animaux décomposés) dans le sol. Ce type de nitrate pénètre parfois dans l'eau souterraine, mais nous traiterons principalement des produits agrochimiques épandus sur le sol; nous n'abordons pas la contamination des eaux superficielles ou souterraines causée par la salinisation, par le rejet d'effluents ou par à l'irrigation avec des eaux d'égout.

Présence des produits agrochimiques dans l'eau potable

Comme l'agriculture est souvent pratiquée sur de vastes superficies situées au-dessus d'importants aquifères, les produits agrochimiques risquent de pénétrer dans l'eau potable. Ainsi, ils peuvent percoler dans les puits par suite de déversements accidentels, ou encore en raison d'une mauvaise construction des puits ou de méthodes inappropriées de stockage et de manipulation des pesticides. Ce *type de contamination* ponctuelle et majeure (fig. 10-1) représente un phénomène localisé qu'il est assez facile de contrôler par l'éducation et la réglementation.

La *pénétration diffuse* de produits agrochimiques en faibles concentrations peut également altérer les eaux souterraines (fig. 10-1). Elle se produit sur de grandes superficies, par exemple à l'échelle d'une région agricole ou d'un bassin versant; elle est principalement causée par la lente percolation des produits agrochimiques dans le sol, jusqu'aux eaux souterraines.

Un tel lessivage diffus de produits agrochimiques en faibles doses ne se produit pas toujours dans les secteurs agricoles; toutefois, lorsque c'est le cas, les teneurs sont souvent inférieures aux *concentrations maximales acceptables* actuellement applicables à l'eau potable au Canada. Cependant, ce type de contamination est habituellement plus préoccupant que la contamination ponctuelle par des produits fortement concentrés, pour les raisons suivantes :

- elle peut être généralisée
- elle est plus difficile à contrer, car on connaît mal les sources des produits agrochimiques et leur processus de lessivage
- elle peut survenir même lorsque les pratiques agricoles visent à réduire la dégradation du sol et des eaux
- elle semble être en hausse dans certaines régions intensément cultivées
- une exposition à long terme à des doses même faibles de produits agrochimiques peut alarmer la population.

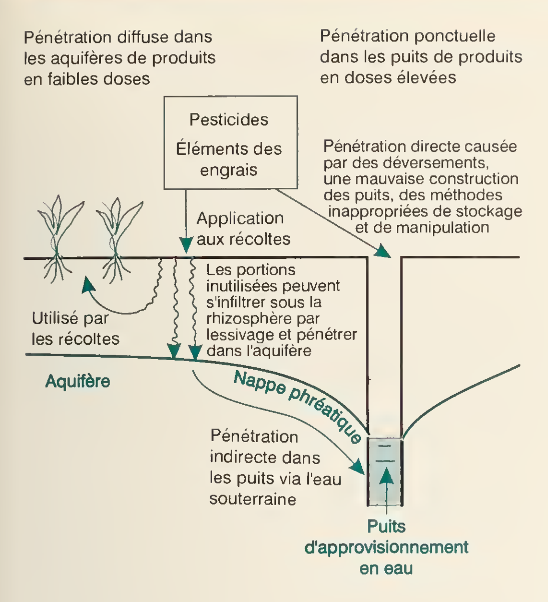


Figure 10-1
Pénétration des produits agrochimiques dans les eaux souterraines.

Réduction de la contamination agrochimique des eaux souterraines

Voici les principaux facteurs qui déterminent l'importance et la vitesse du lessivage des produits agrochimiques dans le sol et les eaux souterraines :

- type et intensité de l'activité agricole
- conditions météorologiques
- pratiques de gestion des terres et des récoltes
- type et quantité de produits agrochimiques employés
- caractéristiques du sol.

Souvent, ces facteurs donnent lieu à des interactions complexes. La contamination agrochimique des eaux souterraines d'un secteur donné dépend des facteurs agissants et de leur interaction à cet endroit.

Type et intensité de l'activité agricole

Le lessivage des produits agrochimiques dans les eaux souterraines est un phénomène fréquent dans les régions où une activité agricole intense implique un emploi abondant de substances chimiques et où la concentration des activités d'élevage donne lieu à l'épan-dage de grandes quantités de fumier. Dans les deux cas, les produits agrochimiques en excès peuvent être lessivés dans le sol. On peut également observer un lessivage — particulièrement des nitrates — dans les zones de culture sèche relativement peu intensive où la jachère est fréquemment pratiquée. La jachère peut causer l'accumulation dans le sol de l'eau en excès et des nitrates inutilisés. L'eau en excès peut alors percoler dans le sens de la pente et emporter les nitrates inutilisés dans les eaux souterraines.

Conditions météorologiques

L'abondance des précipitations et le moment où elles se produisent sont les principaux paramètres météorologiques qui influent sur le lessivage des produits agrochimiques. L'eau de pluie qui s'infiltre dans le sol en quantité supérieure aux besoins des cultures peut y percoler à une grande profondeur, en transportant des produits agrochimiques. Le lessivage des produits agrochimiques a surtout lieu au printemps et à l'automne, lorsque la pluviosité est élevée et les cultures sont peu assoiffées. Le problème est beaucoup plus aigu dans les régions humides du Canada que dans les régions sèches.

Pratiques de gestion

Si l'on applique des quantités d'engrais, de fumier ou de pesticides supérieures aux besoins des cultures ou à une période où celles-ci ne peuvent les utiliser (début du printemps ou fin de l'automne, quand la croissance est lente), la portion inutilisée peut être lessivée jusqu'aux eaux souterraines. Tout comme l'eau de pluie en excès, l'eau d'irrigation en excès peut entraîner les produits agrochimiques profondément dans le sol. Les productions de cultures, comme les légumes, qui nécessitent de fortes doses d'engrais et/ou de pesticides accroissent le risque de lessivage des produits agrochimiques dans la nappe phréatique.

Type et quantité de produits agrochimiques

Certains produits agrochimiques sont hautement *lessivables*. Lents à se décomposer et peu retenus par le sol, ils peuvent descendre dans celui-ci

Potentiel de lessivage des pesticides

La possibilité qu'un pesticide soit lessivé jusqu'aux eaux souterraines peut être évaluée par sa *cote d'omniprésence dans les eaux souterraines*, que l'on calcule en déterminant avec quelle facilité le pesticide pénètre dans le sol via l'eau de percolation et à quelle vitesse il est décomposé en sous-produits inoffensifs par les microorganismes du sol et les réactions chimiques.

Une cote d'omniprésence élevée indique que le pesticide est hautement lessivable (potentiel élevé de lessivage), une cote faible révèle que le pesticide est non lessivable (faible potentiel), tandis qu'une cote intermédiaire désigne un pesticide modérément lessivables (potentiel modéré). Le tableau ci-dessous classe plusieurs pesticides commerciaux courants selon leur cote d'omniprésence dans les eaux souterraines.



(W.P. Reynolds, AAC, Ottawa, Ontario)

beaucoup plus rapidement qu'une substance non lessivable. Souvent, un produit agrochimique est plus nocif pour les eaux souterraines s'il est lessivable et modérément toxique que fortement toxique mais non lessivable. L'herbicide atrazine et les engrais aux nitrates sont peu toxiques pour les humains, mais ils sont lessivables et ont été longuement et abondamment employés sur de vastes superficies. Dans certaines des meilleures régions agricoles du Canada, le risque d'un lessivage généralisé de l'atrazine ou des nitrates dans les eaux souterraines est donc élevé.

Caractéristiques du sol

Le lessivage des produits agrochimiques est généralement proportionnel à la *perméabilité du sol* (capacité du sol à absorber les fluides comme l'eau) et inversement proportionnel à son *pouvoir de dissipation* (capacité d'adsorber les composés chimiques [de les fixer] et de les dégrader). Les sols sableux grossiers et les sols fins comportant beaucoup de fissures, de trous de vers et de canaux radiculaires sont habituellement caractérisés par une plus grande perméabilité et/ou un plus faible pouvoir de dissipation que les sols argileux ou les sols peu poreux. Le risque de contamination des eaux souterraines par des produits agrochimiques est donc plus grand dans un sol sableux que dans un sol argileux.

Situation actuelle et tendances

Au Canada, les eaux souterraines n'ont pas été surveillées assez longtemps ou assez en détail pour qu'on puisse brosser un tableau exhaustif de la situation actuelle et des tendances relatives à leur contamination par des produits agrochimiques. L'information disponible nous donne toutefois une idée générale de la situation dans les principales régions agricoles du Canada.

Colombie-Britannique

Les aquifères sont une importante source d'eaux municipales, domestiques et agricoles dans les vallées cultivables de la Colombie-Britannique. On croit que les aquifères du plateau intérieur et de la majeure partie de la région de Rivière-de-la-Paix risquent peu d'être contaminés par les produits agrochimiques, en raison de la faible pluviosité et des activités agricoles peu intensives. Dans le sud de la province toutefois, le risque de contamination est modéré à élevé dans certains aquifères en raison des facteurs suivants :

- intensité de la production animale et/ou végétale
- irrigation estivale
- prédominance des sols sableux grossiers.

Dans le Lower Mainland, les aquifères sont très vulnérables à cause de l'abondance des précipitations hivernales. On a déjà décelé de fortes concentrations de produits agrochimiques (surtout des nitrates) dans les

eaux souterraines de plusieurs aquifères des vallées du Fraser et de l'Okanagan.

La situation de l'aquifère d'Abbotsford-Sumas, dans la vallée du bas Fraser, est particulièrement préoccupante. Couvrant plus de 100 km^2 de part et d'autre de la frontière canado-américaine, c'est l'une des plus importantes sources d'eau régionales pour la population des deux pays, et sa contamination par les produits agrochimiques soulève donc des craintes à l'échelle internationale. Sous l'action continue de l'épandage de grandes quantités de fumier de volaille fortement azoté dans les champs de framboises et de plantes fourragères et des conditions climatiques et pédologiques favorables au lessivage, le risque de contamination agrochimique est très élevé.

Depuis une vingtaine d'années, les concentrations de nitrates ont constamment augmenté dans de vastes portions de l'aquifère et elles dépassent souvent la concentration maximale acceptable visant l'azote des nitrates dans les *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada*, soit 10 milligrammes par litre d'eau. Certaines portions de l'aquifère contiennent également des fumigants chlorocarbonés, mais à des niveaux inférieurs aux concentrations maximales acceptables fixées par la province. La disparition de ces pesticides sur le marché devrait faire diminuer progressivement leurs concentrations dans l'aquifère.

Un important aquifère situé près d'Osoyoos, dans la vallée inférieure de l'Okanagan, connaît peut-être aussi un grave problème de lessivage des nitrates. En effet, environ 17 % des puits échantillonnés en 1986, et 33 % de ceux échantillonnés en 1987, dépassaient la concentration maximale acceptable pour l'azote des nitrates. Les engrais utilisés dans une arboriculture fruitière intensive en terrain irrigué sont probablement la principale source de nitrates.

Contamination par les nitrates

Les principales sources d'azote dans le sol sont la matière organique du sol d'origine naturelle (végétaux et animaux décomposés), le fumier et les engrais commerciaux. L'azote devient assimilable par les végétaux quand il est sous forme hydrosoluble — ammonium et nitrate. Les nitrates non assimilés par les végétaux peuvent être lessivés sous la rhizosphère jusqu'aux eaux souterraines, et y atteindre des concentrations nocives pour la population humaine et animale.

Bien que relativement peu toxiques en eux-mêmes, les nitrates peuvent, dans le tube digestif des nourrissons et des ruminants (comme les bovins et les moutons), se transformer en nitrites toxiques. Une fois assimilés dans le flux sanguin par le tube digestif, les nitrites modifient la capacité de transport d'oxygène de l'hémoglobine, produisant ainsi une déficience en oxygène appelée *méthémoglobinémie*. Les nourrissons sont particulièrement vulnérables à ce problème en raison de l'acidité plus faible de la portion supérieure de leur tube digestif, qui accélère la transformation des nitrates en nitrites. Dans la majorité des cas de méthémoglobinémie recensés et imputés à une eau potable contaminée, celle-ci présentait une teneur en azote des nitrates supérieure à 40 milligrammes/litre, soit plus de quatre fois la concentration maximale acceptable actuellement fixée par les *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada*.

(W.D. Reynolds, AAC, Ottawa, Ontario)

Prairies

La contamination diffuse des eaux souterraines par les produits agrochimiques semble être un phénomène rare dans les prairies sèches du sud de l'Alberta et de la Saskatchewan, une région caractérisée par une agriculture généralement peu intensive (céréaliculture et pâturage en faible densité) et un climat sec — la quantité d'eau consommée par les végétaux étant habituellement égale ou supérieure à la quantité de pluie reçue.

Une bonne partie des eaux souterraines de l'Alberta proviennent de profonds aquifères qui ne sont pas directement reliés à la surface du sol. Pour cette raison, à peine 4 ou 5 % des puits domestiques présentent des teneurs en nitrates supérieures à la concentration maximale acceptable.

En Saskatchewan, la proportion est de 7 à 17 %. Cependant, on impute aujourd'hui cette contamination à des sources surtout ponctuelles (parcs d'engraissement, déversements, fuites d'eau de surface dans des puits peu profonds) et au nitrate d'origine naturelle.

Même si l'écozone des Prairies semble, en général, peu menacée par les produits agrochimiques, certaines conditions peuvent grandement favoriser la contamination du sous-sol et des eaux souterraines. En certains endroits de l'Alberta par exemple, l'épandage des doses maximales recommandées de

Recommandations pour la qualité des eaux au Canada

Les *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada* consistent en une série de «concentrations maximales acceptables» recommandées pour diverses substances polluantes dans l'eau potable brute (non traitée), les eaux à vocation récréative, les eaux agricoles et industrielles et l'eau abritant une vie aquatique. Elles visent à protéger les eaux canadiennes et à en accroître la qualité, et s'appliquent exclusivement aux eaux souterraines et superficielles intérieures, et non aux eaux estuariennes et marines.

Les recommandations concernant l'eau potable fixent des concentrations maximales acceptables pour diverses substances physiques, chimiques, radiologiques et microbiologiques. L'eau contenant de telles substances en teneurs supérieures aux concentrations maximales acceptables est susceptible d'avoir des effets négatifs sur la santé, ou d'être esthétiquement douteuse. On trouve ci-dessous les teneurs maximales recommandées pour la présence de plusieurs produits agrochimiques communs dans l'eau potable.

Concentrations maximales recommandées pour certains produits agrochimiques dans les eaux canadiennes

Produit agrochimique	Concentration maximale acceptable recommandée
Pesticide	(Microgrammes par litre)
atrazine	5
chlorthalonil	aucune recommandation
cyanazine	10
diazinon	14
diclofop-méthyl	9
dinosèbe	aucune recommandation
EPTC	aucune recommandation
glyphosate	280
linuron	aucune recommandation
métolachlore	50
métribuzine	80
simazine	10
Azote des nitrates	10 milligrammes/litre
Bactéries	50 coliformes/litre

Source : *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada.*

Les *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada* servent aux autorités provinciales, territoriales et fédérales à évaluer les problèmes de qualité des eaux et à concilier les usages divergents des ressources en eau. Les recommandations reposent sur les meilleures données scientifiques disponibles et sont périodiquement actualisées en fonction des nouvelles informations.

(W.D. Reynolds, AAC, Ottawa, Ontario)

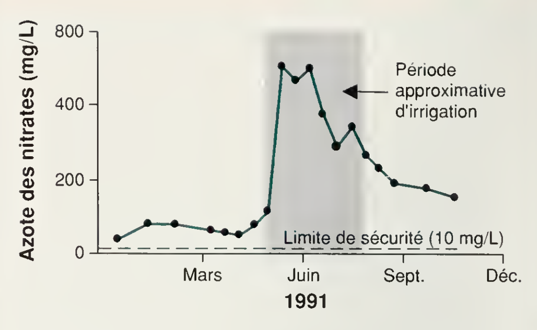


Figure 10-2
Contamination des eaux souterraines sous un sol fumé et irrigué en Alberta. L'épandage de la dose maximale recommandée (60 tonnes/hectare) de fumier provenant des parcs d'engaissement du bétail a causé une grave contamination. Les taux d'azote des nitrates ont dépassé la concentration maximale acceptable (10 milligrammes/litre) toute l'année, et ont grimpé en flèche durant l'irrigation.

fumier provenant des parcs d'engraissement a entraîné une grave contamination des sols et des eaux souterraines par les nitrates. Les concentrations d'azote des nitrates peuvent dépasser une tonne à l'hectare dans les sols non irrigués sous monoculture, et jusqu'à 500-600 milligrammes par litre dans les eaux souterraines situées à faible profondeur sous les sols irrigués (fig. 10-2). Des pesticides (surtout des herbicides) ont également été décelés dans ces eaux souterraines sous les sols irrigués, en teneurs allant de l'état de traces à des niveaux supérieurs à la concentration maximale acceptable.

D'après des expériences menées en Saskatchewan, les conditions suivantes peuvent fortement contribuer au lessivage de l'azote des nitrates :

- fréquente mise en jachère (la jachère peut occasionner l'accumulation dans le sol de l'eau en excès et de nitrates, qui percoleront ensuite sous la rhizosphère)
- surfertilisation des cultures, qui laisse dans le sol des nitrates en excès (spécialement quand les doses d'engrais sont basées sur les caractéristiques générales des cultures et des sols plutôt que sur l'analyse du sol et des tissus végétaux)

- dans certains cas, sous-fertilisation (une croissance médiocre des végétaux donne lieu à une faible utilisation de l'azote et à l'accumulation d'eau en excès dans le sol)
- irrigation fréquente (dans certains champs irrigués, l'eau drainée par canalisations enterrées contenait des nitrates en teneur supérieure à la concentration maximale acceptable ainsi que des traces d'herbicides).

Zone de transition entre la prairie-parc et la forêt boréale

On connaît mal les effets de l'agriculture sur la qualité des eaux souterraines au Manitoba. D'après les données existantes, les eaux souterraines des régions caractérisées par un sol très argileux et une agriculture peu intensive semblent contenir peu de produits agrochimiques. Toutefois, dans le sud du Manitoba, les terres sont soumises à une agriculture intensive; depuis vingt ans, les activités de fertilisation et de fumure se sont rapidement intensifiées et ont entraîné l'accumulation de produits agrochimiques dans le sol de certains champs.

D'après un relevé effectué en 1992-1993 dans le sud du Manitoba, il y a de fortes concentrations de nitrates dans les sous-sols des champs où l'on a épandu de grandes quantités d'engrais et/ou de fumier et semé des céréales ou des plantes horticoles. Même si l'eau souter-raine ne semble pas contenir encore beaucoup de nitrates, le risque pour l'avenir est élevé.

Les aquifères du delta supérieur et inférieur de l'Assiniboine suscitent également des préoccupations. Ces importantes sources régionales d'eau potable et d'eau d'irrigation sont situées sous des sols sableux et des sols loameux grossiers où l'on pratique une agriculture intensive, souvent avec irrigation. Lors d'une récente étude, on a décelé dans l'eau souterraine des teneurs en nitrates supérieures à la concentration maximale acceptable, sous un champ de blé très fertilisé; on ignore dans quelle mesure l'eau a été contaminée. L'analyse des échantillons d'eau prélevés entre 1991 et 1993 dans quelques-uns des puits servant à la surveillance des eaux souterraines et des puits fournissant de l'eau d'irrigation indique que ces aquifères ne sont pas contaminés par les pesticides.

Centre du Canada

Dans les meilleures régions agricoles du centre du Canada, les principaux facteurs à l'origine de la contamination agrochimique — agriculture intensive, climat humide, sols très perméables et peu profonds, nappes phréatiques élevées — sont combinés en maints endroits, de sorte que le risque de lessivage de ces produits dans les eaux souterraines est élevé.

Dans le sud de l'Ontario, les principales substances agrochimiques qui pénètrent dans les eaux souterraines sont les nitrates et l'atrazine, en plus des bactéries. Les nitrates des engrais, le nitrate naturel du sol et les composés azotés de l'eau de pluie sont, ensemble, les principaux responsables de la contamination par les nitrates, tandis que la contamination bactérienne résulte d'une abondante pulvérisation de fumier liquide provenant de grands élevages (notamment production porcine, bovine, avicole et laitière). La présence d'atrazine est surtout attribuable à la monoculture intensive du maïs pratiquée dans le passé; des études faites dans l'est de l'Ontario indiquent que ce produit peut persister dans les eaux souterraines peu profondes plus de cinq ans après qu'on en ait cessé l'utilisation.

Selon une étude, réalisée en 1992, des eaux souterraines de 900 puits alimentant des secteurs ruraux du sud de l'Ontario, 37 % des puits présentaient des teneurs en nitrates, en bactéries et/ou en herbicides supérieures aux concentrations maximales acceptables; 15 % dépassaient la concentration maximale acceptable pour l'azote des nitrates, et 32 % pour les bactéries coliformes. Quant aux pesticides, on a observé des teneurs décelables (surtout l'atrazine) dans 12 % des puits, mais les concentrations maximales acceptables étaient dépassées dans seulement deux puits (0,2 %). Les puits contaminés étaient très dispersés (fig. 10-3), et aucune corrélation n'a été établie avec une culture ou une pratique agricole en particulier. Cependant, la contamination bactérienne était plus fréquente dans les cas d'épandage de fumier à intervalles réguliers; quant à la contamination par les nitrates, on

Malgré l'existence dans le public d'une certaine mystique entourant l'eau souterraine et sa pureté, c'est la communauté agricole qui, mieux que quiconque ou presque, la comprend le mieux, car elle dépend davantage des eaux souterraines que tout autre segment de la société.

George R. Hallberg
From Hoes to Herbicides: Agriculture and Groundwater Quality



Figure 10-3
Répartition des puits agricoles contenant des produits agrochimiques dans le sud-ouest de l'Ontario.
A) Puits dépassant la concentration maximale acceptable pour l'azote des nitrates (10 milligrammes/litre); B) puits dépassant la concentration maximale acceptable de bactéries pour les colonies de coliformes (5/100 millilitres; C) puits aux concentrations détectables de pesticides.

l'observait plus souvent dans des sols très perméables et dans les eaux souterraines peu profondes.

Au Québec, les données sur la qualité des eaux souterraines ne donnent pas une bonne idée de l'étendue et de la gravité de la contamination agrochimique dans les régions agricoles. Selon des relevés limités portant sur les basses terres du Saint-Laurent et l'île d'Orléans, les régions où l'on pratique intensivement la culture de la pomme de terre et des légumes et l'élevage du porc et de la volaille pourraient être aux prises avec une forte contamination par les nitrates et les bactéries. Un relevé des puits domestiques effectué entre 1978 et 1980 dans des régions productrices de pommes de terre a permis de constater que dans 6 % des puits, la teneur en azote des nitrates était supérieure à la concentration maximale acceptable. À l'île d'Orléans, 83 % des 35 puits échantillonnés contenaient des numérations bactériennes supérieures à la concentration maximale acceptable pour l'eau potable, probablement en raison d'une contamination ponctuelle (traitement inadéquat des eaux usées et pénétration du ruissellement de surface dans des puits mal scellés). On a également décelé de l'aldicarbe et de l'atrazine dans quelque 31 % des puits échantillonnés à l'île d'Orléans, mais en teneurs bien inférieures aux actuelles concentrations maximales acceptables. Comme pour l'Ontario, les cas de contamination par les nitrates semble être très disséminés et plus fréquents dans les sois très perméables et dans les eaux souterraines peu profondes.

Canada atlantique

Au Canada atlantique, la contamination agrochimique des eaux souterraines touche surtout les zones de culture intensive de la pomme de terre et du maïs, car :

- ces cultures sont abondamment fertilisées pour produire des rendements élevés
- la pomme de terre pousse mieux dans des sols grossiers et très perméables
- l'abondance des précipitations, au printemps et à l'automne, cause un fort lessivage.

Les concentrations moyennes d'azote des nitrates dans les eaux souterraines des régions productrices de pomme de terre varient entre 4 et 10 milligrammes/litre. À l'intérieur de cette fourchette, les teneurs moyennes sont directement corrélées à la superficie du terrain consacrée à la culture de la pomme de terre, mais il semble que la quantité de nitrates d'origine diffuse lessivés dans les eaux souterraines demeure stable au fil des ans. Les eaux souterraines contiennent également certains pesticides lessivables employés dans la culture de la pomme de terre, comme le métribuzine et le dinosèbe, mais les concentrations observées représentent habituellement une petite fraction seulement des concentrations maximales acceptables. Quant aux pesticides non lessivables, comme le chlorthalonil, ils ne sont décelés que très occasionnellement dans les eaux souterraines, habituellement à l'état de traces.

Dans un récent relevé des puits agricoles du comté de Kings en Nouvelle-Écosse, où se trouvent la majorité des champs de pommes de terre et de maïs de la province, 41 % des puits contenaient des quantités décelables de pesticides (aucun n'excédait la concentration maximale acceptable), 9 % contenaient des numérations bactériennes supérieures aux recommandations, et 13 % dépassaient la concentration maximale acceptable pour les nitrates. Tous les pesticides décelés (l'atrazine étant le plus fréquent) sont de source diffuse. La contamination bactérienne est attribuable à des sources ponctuelles, tandis que les fortes concentrations de nitrates sont causées par des sources ponctuelles, diffuses et inconnues.

La production fourragère (foin et ensilage) représente la principale utilisation agricole des terres provinces atlantiques. Elle semble ne contribuer que faiblement ou modérément à l'entrée des nitrates dans les eaux souterraines.

Le lessivage des nitrates dans la culture des pommes de terre

Pour obtenir des rendements optimaux de pommes de terre, on doit employer de fortes doses d'engrais azoté, sur des sols sableux propices au lessivage des nitrates. Par conséquent, l'eau drainée des champs de pommes de terre par canalisations enterrées contient souvent des taux de nitrates considérablement supérieurs à ceux de l'eau drainée des champs semés d'autres cultures, et qui dépassent fréquemment la concentration maximale acceptable pour l'azote des nitrates dans l'eau potable, soit 10 milligrammes/litre.

Concentration d'azote des nitrates dans l'eau drainée par canalisations enterrées

Culture	Lieu	Concentration d'azote des nitrates (milligrammes/litre)
Pomme de terre	Nouveau-Brunswick et Île-du-Prince-Édouard	15–20
Pâturages	Nouveau-Brunswick	1–3
Maïs ensilage	Nouveau-Brunswick	5
Graminées	Nouveau-Brunswick	5

La pomme de terre est la principale culture marchande de l'Île-du-Prince-Édouard. Cette culture rapporte annuellement environ 100 millions $ de recettes et occupe environ 48 % des terres agricoles améliorées (cette superficie n'est pas totalement ensemencée en pommes de terre chaque année). Comme l'eau souterraine est l'unique source d'eau potable dans cette province, on s'inquiète beaucoup de la contamination possible des eaux souterraines par les nitrates issus de la production de pommes de terre.

(P.H. Milburn, AAC, Fredericton, N.-B. et J.A. MacLleod, AAC, Charlottetown, Î.-P.-É.)

Comment réduire l'entrée de produits agrochimiques dans les eaux souterraines

L'intensification de l'activité agricole s'accompagne inévitablement de l'entrée de produits agrochimiques dans les eaux souterraines. Le défi consiste à déterminer comment réduire cette entrée. Les méthodes doivent être adaptées à la grande diversité des conditions climatiques, des sols et de l'activité agricole dans les différentes régions agricoles du Canada. Voici les options les plus prometteuses.

Cultures dérobées et rotations culturales

Le recours aux *cultures dérobées* (habituellement, ensemencement d'une culture de moindre valeur à l'automne après la récolte de la culture principale, de plus grande valeur) et à certaines rotations culturales peut substantiellement réduire

Éléments nutritifs essentiels pour les cultures

Tous les végétaux, y compris les plantes cultivées, ont besoin de nombreux éléments nutritifs pour bien croître et se développer. Les *macro-éléments* sont des éléments nutritifs nécessaires en grandes quantités aux végétaux (carbone, hydrogène, oxygène, azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, soufre), tandis que les *micro-éléments* sont essentiels en petites quantités seulement (fer, manganèse, molybdène, bore, cuivre, zinc, chlore).

Les plantes cultivées tirent de l'atmosphère et de l'eau le carbone, l'hydrogène et l'oxygène dont elles ont besoin. Les autres éléments nutritifs proviennent du sol. Pour obtenir des rendements économiques de leurs récoltes, les agriculteurs doivent souvent ajouter au sol (en plus des quantités qui y sont déjà présentes à l'état naturel) de l'azote, du phosphore et de la potasse, sous forme d'engrais commerciaux et de fumier. La portion de ces produits chimiques non assimilée par les récoltes peut être lessivée dans le sol jusqu'aux eaux souterraines servant d'eau potable. Le phosphore et le potassium ne sont pas toxiques, mais les nitrates peuvent, en présence de certaines conditions pédologiques, climatiques et agricoles, atteindre des concentrations toxiques dans l'eau souterraine.

(W.D. Reynolds, AAC, Ottawa, Ontario)

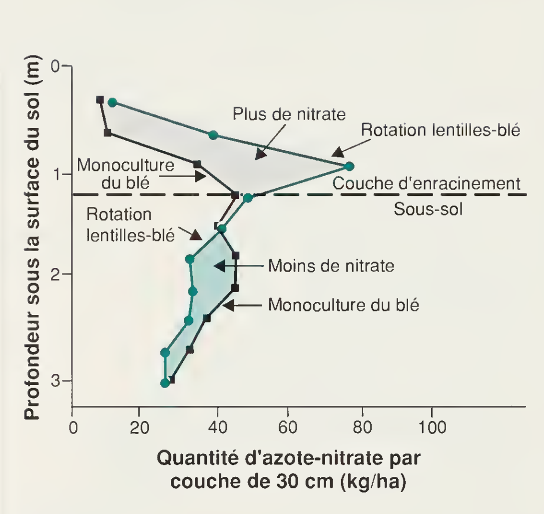


Figure 10-4
Nitrates dans le sol sous deux régimes culturaux.
Dans une étude s'étendant sur douze années à Swift Current (Saskatchewan), une rotation lentilles-blé a causé une plus grande accumulation de nitrates dans la couche d'enracinement et un plus faible lessivage des nitrates dans le sous-sol que la monoculture du blé. Les sols des deux régimes culturaux ont été fertilisés chaque année, à partir d'analyses pédologiques.

le lessivage des nitrates dans le sous-sol et/ou les eaux souterraines. Les cultures dérobées assimilent l'azote et l'eau résiduels du sol, aussi bien à l'automne après la récolte de la culture principale qu'au printemps suivant, avant l'ensemencement de la culture principale. Certaines rotations culturales diminuent le lessivage des nitrates en créant une situation d'intérêt mutuel. Ainsi, toute culture de légumineuses dans la rotation assimile l'azote laissé par la récolte antérieure, tout en ajoutant au sol, par son système radiculaire, de l'azote à libération lente. Les cultures subséquentes de la rotation assimilent ensuite cet azote à libération lente durant la saison de croissance, ce qui réduit d'autant les besoins d'engrais chimiques.

Dans le Canada atlantique par exemple, le blé d'hiver, le radis oléagineux et le seigle d'hiver servent de cultures dérobées dans les champs de pommes de terre. Des études menées à l'Île-du-Prince-Édouard ont montré que le radis oléagineux et le seigle d'hiver éliminent environ 100 kg à l'hectare d'azote résiduel dans les champs de pommes de terre. En Saskatchewan, l'alternance des récoltes de blé avec des légumineuses (comme les lentilles) et des cultures semées à l'automne (ex. le seigle d'hiver) a davantage réduit le lessivage des nitrates sous la couche d'enracinement que la rotation plus traditionnelle jachère-blé de printemps ou la monoculture du blé de printemps (fig. 10-4). Les lentilles rejettent dans le sol de l'azote naturel à libération lente qui est assimilé par la culture subséquente de blé avant d'être lessivé, ce qui permet de réduire les doses d'engrais chimiques. Le seigle d'hiver pousse à l'automne, avant le gel, et reprend sa croissance plus tôt au printemps que le blé de printemps traditionnel, en assimilant les nitrates résiduels du sol avant leur lessivage.

Calendriers, doses et méthodes d'épandage des produits agrochimiques

La contamination des eaux de surface et des eaux souterraines par les nitrates contenus dans les engrais commerciaux et le fumier représente le principal problème de qualité des eaux agricoles. Bien qu'il y ait actuellement très peu de pesticides dans les eaux souterraines de

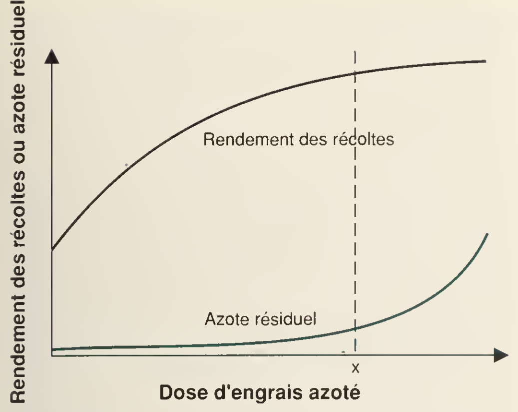


Figure 10-5
Rendement des cultures et azote résiduel du sol.
Le rendement des cultures et la quantité d'azote non assimilée par les végétaux et laissée dans le sol après la récolte augmentent tous deux avec l'accroissement de la dose de fertilisation azotée. Le point x (ligne de tirets) indique la limite au-delà de laquelle l'azote résiduel risque de contaminer l'eau souterraine. Heureusement, ce point voisine la dose de fertilisation qui produit un rendement économique maximal. Ainsi, il devrait être possible d'optimaliser le rendement économique et de réduire au minimum le lessivage des nitrates en fertilisant les cultures selon les résultats d'analyses du sol et/ou des tissus végétaux.

l'ensemble du Canada, il faut continuer de les employer judicieusement. Il serait possible d'atténuer le risque de lessivage des nitrates et des pesticides en faisant en sorte que les éléments nutritifs, les pesticides et l'eau d'irrigation soient utilisés plus efficacement par les récoltes.

Éléments nutritifs

Voici quelques façons d'améliorer l'utilisation des éléments nutritifs par les récoltes :

- prendre en compte toutes les principales sources d'azote, y compris l'azote naturel du sol et les quantités libérées par l'engrais vert et les résidus de culture qu'on a enfouis dans le sol et par le fumier de bétail qu'on y a épandu
- mieux évaluer les besoins de chaque culture et n'appliquer que les quantités de produits agrochimiques que la récolte peut assimiler (par exemple, baser le dosage des engrais azotés sur une analyse du sol et des tissus végétaux — fig. 10-5)
- faire concorder les applications de produits agrochimiques avec les périodes de besoin optimal des récoltes, tout en évitant les phases de lessivage aiguës
- améliorer les méthodes d'épandage
- fixer des objectifs de rendement des récoltes qui soient viables sur le double plan économique et environnemental
- semer des cultures qui préviennent l'accumulation des nitrates inutilisés après la saison de croissance.

Dans le cas du fumier, on peut réduire le risque de contamination par les nitrates et les bactéries en épandant du fumier sec sur des sols secs et complètement dégelés, que l'on laboure peu après. Dans certaines régions, on peut injecter le fumier liquide directement dans la couche d'enracinement à l'aide d'un injecteur tracté, au lieu de le pulvériser en surface. Cette méthode empêche le ruissellement du fumier à la surface du sol; en outre, les dents de l'injecteur réduisent le lessivage du fumier sous la couche d'enracinement en éliminant les grandes fissures et les trous de vers du sol.

Pesticides

Malgré la difficulté de prévoir le comportement et le transport des pesticides dans des conditions réelles, on peut limiter leur entrée dans les eaux souterraines en appliquant les pratiques de gestion suivantes :

- choisir des pesticides appropriés et respecter les dosages recommandés
- procéder aux épandages à des moments et avec des méthodes qui réduiront la dérive et l'évaporation
- limiter l'utilisation des pesticides en adoptant des stratégies de *lutte antiparasitaire intégrée* (méthodes de lutte contre les organismes nuisibles combinant les rotations culturales, les pratiques culturales et les mesures biologiques et chimiques).

Les effets des pratiques agricoles modernes sur les ressources en eau sont similaires dans l'ensemble du monde industrialisé ... Dans tous les cas, la solution réside dans la gestion et le contrôle des facteurs de production agricole ... Il est nécessaire de cerner les causes plutôt que les symptômes.

Conseil de recherches agricoles du Canada
Les effets de l'agriculture sur la qualité de l'eau : perspectives canadiennes

Plan d'action des grands lacs (PAGL)

Dans le cadre de l'Accord canado-américain relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs, Agriculture et Agroalimentaire Canada a financé une recherche quinquennale, dotée d'un budget de 5 millions $, pour : 1) mieux comprendre les incidences environnementales des produits agrochimiques, spécialement dans le bassin des Grands Lacs; 2) élaborer et raffiner des pratiques agricoles permettant de préserver, d'améliorer et de soutenir la qualité des ressources pédologiques, aquatiques et atmosphériques. Voici quelques résultats de cette recherche.

Pesticides

- Les pesticides atrazine et métolachlore s'écoulent à la surface des terres agricoles vallonnées, principalement dans les eaux du ruissellement superficiel. Ils se dissolvent dans l'eau et ne se fixent pas aux sédiments érodés. Les pertes culminent quand l'épandage est rapidement suivi d'un orage, et peuvent atteindre 10 % après un orage violent. Quelquefois, la teneur en pesticides de l'eau de ruissellement continue de dépasser la concentration maximale acceptable jusqu'à un mois après l'épandage.
- Dans les terres agricoles plates au sol fissuré (riche en argile et en limon), le transport des pesticides vers les drains souterrains se fait principalement par les grandes pores du sol (fissures, trous de vers et vieux canaux radiculaires). Il y a transport maximal immédiatement après l'épandage, spécialement lorsqu'il est suivi d'une pluie abondante. Les grands pores ne semblent pas entraîner un transport important des pesticides sous les drains souterrains.
- Les terres humides et les marais qui bordent les Grands Lacs semblent pouvoir filtrer et retenir une bonne partie des pesticides provenant du ruissellement agricole. Certaines bactéries contenues dans les sédiments des terres humides dégradent rapidement l'atrazine.

Fumier et nitrates

- Les bactéries et les nitrates du fumier peuvent se déplacer rapidement dans les grands pores du sol et aller contaminer les eaux drainées par drains souterrains et les eaux souterraines peu profondes. L'épandage de fortes doses de fumier liquide directement à la surface du sol peut entraîner une grave contamination. Le risque est le plus élevé immédiatement après l'épandage, spécialement lorsqu'il est suivi d'une pluie abondante.
- Le lessivage des nitrates contenus dans les engrais et le fumier se produit surtout en dehors de la saison de croissance (au printemps, à l'automne et à l'hiver), quand aucune culture ne peut les intercepter ni les utiliser. Le drainage par canalisations enterrées peut réduire de moitié le lessivage des nitrates (et de l'atrazine).

(W.D. Reynolds, AAC, Ottawa, Ontario)

Irrigation

On peut améliorer ainsi l'utilisation des eaux d'irrigation par les récoltes :

- s'appuyer sur des mesures de la quantité d'eau du sol encore disponible dans la couche d'enracinement pour déterminer quelle quantité d'eau et à quels moments propices il faut irriguer afin d'éviter une irrigation trop forte
- éviter d'inonder le sol ou de l'irriguer trop abondamment, pour prévenir un lessivage rapide des produits agrochimiques sous la couche d'enracinement par les fissures, les trous de vers et les canaux radiculaires.

Amélioration du régime alimentaire des animaux et mise au point de meilleurs pesticides

On travaille actuellement à la conception d'aliments pour animaux (spécialement de rations pour la volaille) qui intensifient l'utilisation de l'azote par l'animal et réduisent la teneur en azote du fumier. On est en train d'éliminer graduellement l'emploi des pesticides lessivables persistants, dont l'atrazine, pour les remplacer par des produits non lessivables et moins persistants. En outre, on met au point de nouveaux produits pesticides qui, tout en étant spécifiques, (toxiques pour les espèces cibles et inoffensifs pour les autres espèces végétales et animales) sont moins dommageables pour l'environnement.

Réglementation des produits agrochimiques

Les autorités fédérales et provinciales élaborent des stratégies et des directives pour réglementer la manipulation du fumier et l'utilisation des pesticides. Par exemple, en Colombie-Britannique, le *Code of Agricultural Practice for Waste Management* assujettit le stockage et l'utilisation du fumier à certaines normes environnementales. Plusieurs provinces obligent les agriculteurs à suivre un cours pour apprendre comment manipuler et doser correctement ces produits. Certaines provinces sont en train d'élaborer des stratégies pour réduire d'au moins 50 % l'utilisation des pesticides dans les prochaines anées.



Surveillance de la qualité des eaux souterraines d'un puits dans un champ de pommes de terre du Canada atlantique.

Programmes de recherche et de surveillance

Le gouvernement fédéral, les provinces, les universités et l'industrie agrochimique mènent de vastes programmes de recherche et de surveillance sur les produits agrochimiques. Le nouveau Programme d'amélioration du milieu pédologique et aquatique (PAMPA), le Plan d'action des Grands Lacs et le Programme national de conservation des sols sont des exemples d'initiatives gouvernementales assorties de recherches approfondies sur le comportement des produits agrochimiques dans l'environnement. Divers programmes fédéraux et provinciaux actuellement réalisés dans le cadre du Plan vert comportent également des études d'intérêt agrochimique. Par ces programmes, on cherche à répondre aux questions suivantes concernant l'entrée des produits agrochimiques dans les eaux souterraines :

- Où se produit-elle?
- Les concentrations actuelles sont-elles nocives?
- Où la contamination risque-t-elle de se produire, maintenant et dans l'avenir?
- Comment se produit-elle (compréhension du processus de lessivage)?
- Est-ce qu'elle s'accroît, diminue ou demeure stable au fil des ans?
- Comment peut-on maintenir des concentrations à la fois sûres et compatibles avec une production agricole intensive?

Conclusions

La recherche actuelle et les programmes de surveillance ne sont pas suffisants pour obtenir une connaissance approfondie de l'étendue et du degré de contamination agrochimique diffuse des eaux souterraines au Canada. Cependant, des informations provenant de différents endroits situés dans les principales régions d'agriculture intensive nous permettent d'en faire une évaluation globale.

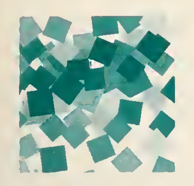
Le nitrate employé dans plusieurs pratiques agricoles se trouve dans presque toutes les eaux souterraines qui se retrouvent sous les principales régions agricoles. Les niveaux de nitrate dans les eaux souterraines se maintiennent sous la limite de sécurité dans la plupart des régions du Canada, mais dans certaines régions d'agriculture intensive, ces niveaux sont plus élevés et ont déjà excédé la limite de sécurité. Les principales sources de nitrate sont les engrais commerciaux, les fumiers de bestiaux et le nitrate qui se trouve à l'état naturel dans le profil des sols. On trouve des pesticides également dans les eaux souterraines des régions agricoles du Canada, mais généralement à des niveaux qui sont bien inférieurs aux limites de sécurité. Les niveaux de pesticides dans les eaux souterraines semblent généralement décroître à mesure que des pesticides moins persistants et moins lessivables sont mis au point et à mesure que les méthodes d'application s'améliorent. La contamination bactérienne des eaux souterraines dans le sud de l'Ontario et du Québec se retrouve dans des endroits dispersés, mais ces endroits sont sérieusement contaminés, probablement à cause de trop grandes applications de fumiers liquides.

Les organismes fédéraux, provinciaux, universitaires et privés sont en train d'étudier des moyens de réduire la pénétration diffuse de produits agrochimiques dans les eaux souterraines. Voici les principaux moyens qu'on a trouvé jusqu'ici: les cultures dérobées et

Une fois les eaux souterraines polluées, leur assainissement devient une tâche difficile, voire impossible, puisqu'elles contiennent peu de microbes décomposeurs et qu'elles ne sont pas exposées à la lumière solaire, à un écoulement d'eau abondant ou à aucun autre des processus naturels de purification qui décontaminent les eaux de surface.

Eugene P. Odum
Ecology and Our Endangered Life Support Systems

les rotations de cultures afin de réduire l'emploi des pesticides et d'intercepter les produits agrochimiques non utilisés dans le sol; des technologies améliorées d'irrigation et d'épandage des produits agrochimiques; de nouveaux aliments pour animaux qui réduisent la teneur d'azote des fumiers; de nouveaux pesticides moins lessivables, moins persistants et qui atteignent davantage les ravageurs visés. La surveillance continue, la recherche sur les procédés de lessivage de produits agrochimiques, la mise au point de méthodes améliorées pour l'utilisation de produits agrochimiques sont des outils indispensables au Canada pour que la pénétration des produits agrochimiques dans les eaux souterraines se maintiennent à des niveaux qui soient à la fois acceptables et compatibles avec la production durable d'aliments abondants et de grande qualité.



Résumé

L.J. Gregorich et D.F. Acton

Introduction

La santé de nos sols est indiscutablement l'un des grands facteurs parmi ceux qui déterminent dans quelle mesure nous pouvons pratiquer une agriculture durable au Canada et préserver l'environnement. Dans le présent rapport, on explique ce que veut dire la santé d'un sol en agriculture et l'on présente les principaux résultats des travaux de recherche effectués ces 10 dernières années pour étudier les facteurs qui l'influencent, pour surveiller les indicateurs nous renseignant sur son évolution et pour déterminer quelles pratiques agricoles, nouvelles ou améliorées, en favorisent le maintien et l'amélioration. On donne également un aperçu de l'état de santé actuel des sols agricoles du Canada.

Mises à part certaines petites régions où l'agriculture est en expansion, il ne reste plus de terres cultivables encore inexploitées au Canada. Ainsi, le maintien de notre productivité agricole passe pour l'essentiel par l'exploitation éclairée des ressources actuelles, exploitation qui doit permettre de préserver non seulement la superficie consacrée à l'agriculture mais aussi la qualité des terres agricoles.

Tendances actuelles et à venir relativement à la santé des sols

Les méthodes culturales de conservation sont de plus en plus utilisées depuis une dizaine d'années. Certains des sols agricoles cultivés par ce genre de techniques s'améliorent et deviennent moins sensibles à l'érosion et aux forces dommageables. Ainsi, la teneur des sols en matière organique s'est accrue dans certaines régions, le risque d'érosion a baissé presque partout dans le pays et le risque de salinisation a diminué dans les provinces des Prairies. Dans l'ensemble, toutefois, l'amélioration est modeste et ne touche pas tous les sols. Quoi qu'il en soit, elle nous apporte la preuve qu'il est possible, par des soins appropriés, de maintenir, voire d'améliorer, la santé de nos sols agricoles.

Trois tendances générales se dégagent :

- La santé des sols continuera de péricliter dans les régions de terres marginales où se pratique la culture intensive et où aucune méthode culturale de conservation n'est utilisée.
- La santé des sols se maintient ou s'améliore dans les régions où les pratiques de conservation ont été adaptées en fonction de la nature de la détérioration des sols.
- La détérioration d'un sol progresse rapidement et souvent, le processus est surtout marqué pendant les 10 années qui suivent la mise en culture; le rétablissement est long, par contre, et plus coûteux que le maintien du sol en bon état.

À l'évidence, l'agriculture consiste à réorganiser le milieu naturel pour mieux l'adapter à nos besoins, mais il n'est pas nécessaire pour ce faire de l'épuiser ou de le détruire.

Don Worster
Good Farming and the Public Good in *Meeting the Expectations of the Land*

Vu la grande diversité du paysage, la qualité naturelle propre à chaque sol et les modes d'exploitation agricoles pratiqués au Canada, c'est à l'échelle régionale que les tendances relatives à la santé des sols s'observent et s'interprètent le mieux.

Colombie-Britannique

Le sud de la Colombie-Britannique jouit d'une longue saison de croissance, en raison de la douceur du climat et d'une pluviosité suffisante. La détérioration des sols dans cette région est essentiellement liée à l'intensité de culture, surtout dans les cultures spécialisées de grande valeur, et à la circulation des machines ainsi qu'à l'utilisation de produits agrochimiques qu'elle peut nécessiter. La pénétration des produits agrochimiques dans les eaux souterraines est un problème dans les zones où la couche aquifère se trouve à faible profondeur. On peut voir au tableau S-1 les principales constatations relatives à la santé des sols de cette région.

Provinces des Prairies

Une grande partie des sols des provinces des Prairies sont naturellement de bonne qualité; en outre, la dégradation est comparativement plus faible dans cette région que dans le reste du pays. Un grand nombre de terres agricoles sont exposées aux rigueurs du climat sec qui caractérise la région et sont le siège de certains processus de détérioration, notamment l'érosion éolienne et la salinisation. La diminution du risque d'érosion éolienne observée ces 10 dernières années est attribuée à la réduction des jachères, à l'utilisation accrue de méthodes de travail du sol axées sur la conservation et à la mise en oeuvre d'autres mesures de lutte contre l'érosion telles que l'aménagement d'un

Tableau S-1 La santé des sols de la Colombie-Britannique

Structure	• Dans la vallée du Fraser, les sols sont sujets au compactage; il y aurait lieu d'étudier davantage ce problème. • La circulation des machines agricoles dans les cultures de graminées-fourragères et dans les cultures maraîchères, surtout lorsque le sol est humide, est probablement la principale cause de compactage.
Érosion éolienne	• D'après l'analyse de la portion albertaine de la région de Rivière-de-la-Paix, dans la partie située en Colombie-Britannique, peu de sols sont très exposés à l'érosion éolienne.
Érosion hydrique	• Le risque d'érosion hydrique (sol dénudé) est élevé ou très élevé (aigu) sur 75 % des terres cultivée. Les pratiques de conservation ont permis de réduire ce risque de 17 % depuis 1981.
Produits agrochimiques dans les eaux souterraines	• Dans le sud de la Colombie-Britannique, le risque de contamination des aquifères par les produits agrochimiques va de moyen à élevé, surtout dans les zones de forte pluviosité (Lower Mainland). • L'aquifère Abbotsford–Sumas, situé dans la vallée du bas Fraser, est très exposé à la contamination par les produits agrochimiques; quant à la contamination par les nitrates, elle résulte essentiellement de l'épandage de quantités massives des déjections qui proviennent des nombreux élevages de volaille et de bétail de la région. • Les engrais utilisés dans les cultures fruitières irriguées sont la principale source des apports de nitrates dans les aquifères de la vallée de l'Okanagan. • Dans les eaux souterraines des vallées du Fraser et de l'Okanagan, qui servent à l'approvisionnement en eau potable, les concentrations de nitrates dépassent la limite considérée sans danger au Canada.

couvert végétal permanent et de plantations brise-vent. Dans certaines régions, le risque de salinisation lié aux pratiques agricoles a baissé, apparemment à cause des mesures mises en oeuvre pour combattre le phénomène (couvert végétal permanent, rotations prolongées). Les mesures de conservation ont permis de stabiliser la teneur des sols en matière organique dans certaines régions. L'utilisation croissante de ce genre de méthodes devrait conduire à de nouvelles améliorations. Les principales données touchant la santé des sols de cette région sont présentées au tableau S-2.

Tableau S-2 La santé des sols des provinces des Prairies

Teneur en matière organique	• Selon les premières estimations, la teneur des sols en matière organique aurait baissé de 50–70 % depuis la mise en culture des terres : ces valeurs semblent élevées; d'après des études plus récentes, les pertes ne seraient que de 15–30 % dans les terres non érodées. • La teneur des sols en matière organique est stable dans la plus grande partie de la région; pour l'élever on peut ajouter des matières organiques (fumier, résidus végétaux, etc.), bien fertiliser les cultures et pratiquer la culture continue (réduction des jachères). • La concentration de matières organiques baisse rapidement dans les sols érodés; avec le temps, elle est passée à 20 % ou moins de sa valeur initiale.
Structure	• Le compactage n'est pas un problème majeur, car la plupart des opérations culturales ont lieu lorsque le sol est sec. • Les jachères appauvrissent le sol en matières organiques, ce qui a pour effet d'en modifier la structure; celle-ci s'améliorerait peut-être si l'on réduisait les jachères.
Salinité	• Dans la majeure partie des terres agricoles des Prairies (62 %), la salinité pose un problème sur moins de 1 % de la superficie; dans 36 % des terres, 1–15 % de la superficie est touchée et dans 2 % des terres, plus de 15 % de la superficie est touchée. • Dans la plus grande partie des terres cultivées dans les Prairies (61 % au Manitoba, 59 % en Saskatchewan et 80 % en Alberta), le risque d'augmentation de la salinité était faible. • Au Manitoba, sur 80 % des terres agricoles, le risque de salinisation est demeuré constant de 1981 à 1991; il a baissé sur 19 % des terres (probablement parce qu'on a créé un couvert permanent et qu'on a prolongé les rotations) et il a augmenté sur moins de 1 % des terres.
Produits agrochimiques dans les eaux souterraines	• En général, il n'y a pas de problème de pollution des eaux souterraines par des sources diffuses. • Les jachères, la surfertilisation (et dans certains cas, la sous-fertilisation) et les épandages de fumier en quantités massives peuvent se traduire par des concentrations importantes de nitrates dans les eaux de lessivage. • L'irrigation de certains sols favorise la pénétration de nitrates et de pesticides dans les eaux souterraines. • On a mesuré des concentrations de nitrate supérieures à la limite considérée sans danger dans les aquifères du delta de l'Assiniboine au Manitoba, dans des terrains à sol sableux et loameux où se pratique la culture intensive (souvent avec irrigation).

(suite)

Tableau S-2 *(fin)*

Érosion hydrique	• Sur 5 % des terres cultivées, les risques d'érosion hydrique dépassent la limite acceptable. • De 1981 à 1991, le risque d'érosion hydrique a baissé de 13 % en Alberta, de 8 % en Saskatchewan et de 15 % au Manitoba.
Érosion éolienne	• Sur environ 36 % des terres cultivées des provinces des Prairies, le risque inhérent (sol nu) d'érosion éolienne est élevé ou très élevé (46 % en Alberta, 27 % en Saskatchewan et 45 % au Manitoba). • Le risque d'érosion éolienne a baissé de 7 % entre 1981 et 1991, principalement parce qu'on a réduit les jachères (surtout dans les régions arides) et aussi parce qu'on utilise davantage des méthodes de conservation du sol. • La conversion des cultures de plantes annuelles à la production de fourragères vivaces a réduit le risque d'érosion éolienne de 20–30 % dans certaines régions à sol sableux.

L'énergie que recèle la nature — la planète et ses eaux, l'atome, les rayons solaires — ne nous sera d'aucune utilité si nous négligeons la source vitale la plus précieuse : l'énergie morale et spirituelle que possède tout être humain dans les profondeurs de son âme mystérieuse, incorruptible, incommensurable et marquée par l'inspiration divine.

Daniel Hillel
Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil

Centre du Canada

Le sol d'un grand nombre de terres du centre du Canada subit le stress qu'impose la culture intensive; dans le sud de l'Ontario, l'intensité de culture (définie comme la mise en production de plus de 70 % de la totalité des terres cultivables) a augmenté de 3 % au cours des 10 dernières années. Sur grandes étendues, le sol est pauvre en matière organique et une dégradation marquée est à redouter si aucune mesure de conservation n'est mise en oeuvre, surtout dans les zones de culture intensive, de culture en rangs et de monocultures. Dans certains secteurs, on a amélioré la situation par la prolongation des rotations, l'utilisation de méthodes de travail du sol favorisant la conservation et par l'addition de matière organique. Par ailleurs, l'élevage, qui est une importante industrie dans la région, génère des déjections animales qu'il faut éliminer; le fumier est un bon engrais, mais il faudra désormais tenir compte du risque de contamination des eaux souterraines causée par les nitrates et les bactéries qu'il peut contenir. Les diverses caractéristiques de la santé des sols de cette région sont décrites au tableau S-3.

Tableau S-3 La santé des sols du centre du Canada

Teneur en matière organique	• La teneur des sols en matière organique a baissé de 15–30 % depuis la mise en culture des terres, la plus grande partie de cet appauvrissement s'étant produite au cours des 10 premières années de culture. • La teneur en matière organique d'un sol non travaillé augmente à la surface par comparaison à un sol qu'on travaille par des méthodes classiques au moyen d'une charrue à socs. • Une fertilisation appropriée contribue à l'enrichissement du sol en matières organiques dans les cultures de maïs, surtout si l'on fait une rotation avec d'autres plantes. • Le fumier réduit l'appauvrissement en matières organiques des sols érodés.
Structure	• Le travail du sol par des méthodes classiques, l'appauvrissement en matières organiques et la monoculture du maïs concourent à la détérioration de la structure des sols dans le sud de l'Ontario et dans les basses terres du Saint-Laurent, au Québec; les façons culturales favorisant la conservation du sol et la rotation du maïs avec des plantes fourragères améliorent la structure.

(suite)

Tableau S-3 *(fin)*

	• La circulation dans les cultures et le travail du sol ne tassent pas davantage les sols argileux que les processus naturels ne le faisaient avant la mise en culture. • Au Québec, dans les cultures continues de pommes de terre ou de céréales, la structure des sols sableux risque de se détériorer et une croûte peut se former en surface.
Érosion hydrique	• Le risque inhérent (sol nu) d'érosion hydrique est élevé ou très élevé (aigu) dans environ 52 % des terres cultivées de l'Ontario et dans 47 % de celles du Québec. • L'implantation des méthodes culturales de conservation n'est pas encore faite sur environ 40 % des terres cultivées de l'Ontario. • De 1981 à 1991, le risque d'érosion hydrique a baissé de 21 % en Ontario et de 6 % au Québec à cause des pratiques culturales favorisant la conservation du sol.
Produits agrochimiques dans les eaux souterraines	• Le risque de pénétration de produits agrochimiques dans les eaux souterraines est élevé à bien des endroits à cause de l'effet conjugué d'une agriculture intensive, d'un climat humide, de la grande perméabilité et de la faible épaisseur des sols et de la présence d'eaux souterraines à faible profondeur. • Dans le sud de l'Ontario, les eaux souterraines sont polluées par le nitrate des engrais, contaminées par les bactéries des déjections animales liquides et contiennent de l'atrazine à cause de la culture intensive et continue du maïs qu'on a pratiquée par le passé. • L'analyse de l'eau le sud de l'Ontario a donné les résultats suivants : dans 15 % des puits, la concentration de nitrates dépasse la limite sans danger, dans 32 %, les populations bactériennes sont supérieures aux valeurs considérées sans danger et dans 12 % il y des concentrations détectables d'atrazine. • Dans les basses terres du Saint-Laurent et dans l'île d'Orléans (Québec), la contamination bactérienne et la pollution par les nitrates des eaux souterraines peuvent être importantes dans les régions de production intensive de pommes de terre, de légumes, de porc et de volaille.

Provinces de l'Atlantique

Dans les provinces de l'Atlantique, les sols sont non seulement pauvres à l'état naturel, mais ils font aussi l'objet d'une activité agricole intensive, ce qui a mené à une forte détérioration dans bien des régions. La culture en rangs et les rotations de courte durée ont concouru à cet état de choses. Par contre, dans les régions où l'on a prolongé les rotations et enfoui des plantes fourragères comme engrais vert, la teneur en matière organique du sol a augmenté. Avec l'utilisation de plus en plus répandue de ce genre de méthodes et des mesures de lutte contre l'érosion, la situation devrait continuer de s'améliorer. Les principales constatations touchant l'état des sols de cette région sont présentées au tableau S-4.

Tendances actuelles et futures relativement à la qualité des eaux

Si l'agriculture influe sur la qualité des eaux, c'est essentiellement parce qu'elle donne lieu à la pénétration de nitrates dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface. Pratiquement toutes les eaux souterraines des régions agricoles du Canada contiennent des nitrates. Pour l'essentiel, s'ils ne sont pas présents à

Tableau S-4 La santé des sols des provinces de l'Atlantique

Teneur en matière organique	• La teneur des sols en matière organique a baissé de 15–30 % depuis la mise en culture des terres. • Certains signes indiquent que la teneur des sols en matière organique se maintient ou augmente; le sol de bon nombre de cultures de pomme de terre est maintenant plus riche en matières organiques, en partie parce que le cycle de rotation a été prolongé. • Au Nouveau-Brunswick, des études de référence ont montré que les mesures de lutte contre l'érosion (terrasses et voies d'eau gazonnées) ont permis de réduire de 5 % en 3 ans les pertes de matières organiques dans le sol des cultures de pomme de terre; avec des pratiques favorisant la conservation, les pertes de sol causées par l'érosion sont inférieures de 10 % à celles observées avec des méthodes classiques.
Structure	• À l'état naturel, la structure des sols est faible partout dans la région. • À l'époque des semences printanières et des récoltes automnales, les lourdes machines qui circulent dans les cultures détruisent la structure des sols humides à texture fine. • Le risque de détérioration structurale est surtout élevé dans les cultures en rangs; il est moyen dans les cultures de céréales de printemps et dans les cultures fruitières et il est faible dans les cultures de céréales d'hiver et de plantes fourragères ainsi que dans les pâturages.
Érosion hydrique	• Le risque d'érosion hydrique est élevé ou très élevé dans environ 80 % des terres cultivées du Nouveau-Brunswick, dans 87 % des terres de la Nouvelle-Écosse et dans 81 % des terres de l'Île-du-Prince-Édouard. • De 1981 à 1991, le risque d'érosion hydrique a diminué de 6 % au Nouveau-Brunswick, essentiellement parce qu'on a utilisé des méthodes de conservation pour le travail du sol; durant la même période, le risque d'érosion hydrique est demeuré constant en Nouvelle-Écosse et a légèrement augmenté (0,6 %) à l'Île-du-Prince-Édouard, principalement à cause de l'augmentation de la superficie des terres où se pratique la culture en rangs (pomme de terre).
Produits agrochimiques dans les eaux souterraines	• Le lessivage des produits agrochimiques est un problème dans toutes les régions à forte pluviosité où le sol est perméable et peu épais; les risques sont moyens à faibles dans les cultures de plantes fourragères (l'une des principales cultures) et sont faibles dans les pâturages. • Dans les secteurs de production de pomme de terre et d'autres cultures intensives en rangs, les eaux souterraines sont polluées par le nitrate dans une mesure importante. • Plusieurs pesticides ont été détectés dans les eaux souterraines, mais toujours à des concentrations inférieures à la limite considérée comme sans danger en ce qui touche l'eau potable. • Les populations bactériennes dépassent les limites sans danger dans un grand nombre de puits d'usage domestique; cette contamination est causée par des sources ponctuelles.

l'état naturel, ces nitrates proviennent des engrais et du fumier. Leur présence dans les eaux souterraines pose actuellement un problème d'importance dans le sud-ouest de la Colombie- Britannique ainsi qu'à divers endroits dans le sud de l'Ontario, au Québec et dans les Maritimes. Essentiellement, l'amélioration de la qualité des eaux, au moins en ce qui touche la charge en nitrates, passe par la réduction de l'épandage de produits qui sont source de nitrates. La qualité des eaux s'améliorera d'autant plus que les agriculteurs voudront et pourront ajuster les volumes et les périodes d'épandage d'engrais et de fumier en fonction des besoins des cultures et que les sols peuvent retenir les nutriments (la capacité de rétention d'un sol est déterminée d'après sa teneur en matière organique). Par ailleurs, la contamination des eaux par les bactéries du fumier devrait diminuer, car, pour conserver et épandre cet engrais naturel, les agriculteurs utilisent de plus en plus des méthodes perfectionnées.

La pollution des eaux par les pesticides est moins grave qu'elle ne l'était il y a 10 ou 20 ans, car les pesticides actuellement utilisés sont généralement moins persistants et plus spécifiques. Malgré tout, les eaux de certaines régions contiennent des pesticides (aquifères du sud de la Colombie-Britannique, puits d'usage domestique dans le sud de l'Ontario, au Québec et dans les Maritimes) et, généralement, les effets à long terme de ces substances sont inconnus. Comme la population craint la pollution des eaux et les risques qui peuvent s'ensuivre pour la santé, les pesticides agricoles devraient être de plus en plus souvent remplacés par des moyens de lutte non chimiques.

Méthodes d'amélioration de la qualité des sols

Si les sols se détériorent depuis les débuts de l'agriculture, c'est dans les années 30 que le problème a pris des proportions alarmantes dans les Prairies, la crise s'étendant au reste du pays dans les années 70. Comme les producteurs souhaitaient obtenir un rendement maximal, ils ont augmenté la production en utilisant de plus en plus de machines, ont augmenté ainsi leur consommation de combustibles fossiles, et ont recouru davantage aux produits agrochimiques. Souvent, on atteignait un rendement élevé au prix de la santé du sol.

Depuis une dizaine d'années, le problème de la détérioration des sols a beaucoup retenu l'attention, si bien que la question est maintenant mieux comprise. En effet, grâce à la recherche et à une surveillance constante, nous apprenons sans cesse sur les processus responsables de la détérioration des sols. Il est toutefois impossible de préserver ou d'améliorer la santé d'un sol sans prendre des mesures correctives consistant non seulement à abandonner les pratiques préjudiciables, mais aussi à instaurer des méthodes destinées à améliorer l'état du sol.

Un sol travaillé par les méthodes classiques est pulvérisé; il perd sa structure et risque davantage d'être endommagé par le vent et l'eau. Les instruments aratoires produisent un *effet d'érosion* et de tassement . Certaines façon culturales classiques sont également nuisibles, car elles favorisent l'érosion et l'appauvrissement en matières organiques. Au nombre de ces méthodes figurent notamment :

- le travail du sol dans le sens de la pente
- la culture en rangs intensive
- la monoculture
- la jachère.

Les méthodes qui améliorent l'état du sol favorisent l'accumulation et la préservation des matières organiques et ne détruisent pas la structure du sol. Il s'agit notamment des méthodes suivantes :

- travail de conservation du sol et semis direct (non-labour)
- gestion des résidus
- culture en courbes de niveau
- amendements organiques tels que fumier, compost et boues d'épuration
- réduction des jachères par prolongation de la rotation des cultures ou par culture continue
- rotations comportant des cultures de légumineuses et de plantes fourragères;
- gestion des eaux

Au fond, nos sols seront protégés dans la mesure où la société sera prête à intervenir sur le marché et à renoncer à certains des avantages que nous procure à court terme l'exploitation «épuisante» de nos sols, de façon qu'ils puissent conserver leur qualité et leur fertilité à long terme.

E. Odum
Ecology and Our Endangered Life Support Systems

- lutte contre l'érosion, notamment par la culture de plantes fourragères en rotation, l'ensemencement intercalaire, l'aménagement de plantations brise-vent, la culture en bandes alternantes et l'aménagement du terrain (terrasses, voies d'eau gazonnées, détournement des eaux).

Tendances de la gestion des sols

Comme la détérioration des sols agricoles est causée en grande partie par l'utilisation de techniques de culture peu appropriées, un changement de méthodes devrait évidemment améliorer la situation. Or, non seulement les techniques de gestion nécessaires pour améliorer la santé des sols existent, mais elles sont déjà appliquées dans de nombreuses régions du Canada. Ainsi, plus la qualité des sols s'améliorera, plus les agriculteurs délaisseront les méthodes classiques.

Dans le *Recensement de l'agriculture* de 1991, on demandait pour la première fois aux producteurs de décrire leurs méthodes. À Agriculture et Agroalimentaire Canada, on s'est servi des renseignements recueillis par ce recensement pour évaluer les pratiques agricoles à l'échelle nationale et régionale. Cette évaluation pourra servir de base de comparaison pour évaluer les changements apportés aux techniques agricoles.

En général, avec les méthodes de travail qui favorisent la conservation, la santé du sol s'améliore parce que les perturbations mécaniques diminuent, que la surface se trouve protégée par un résidu et que le sol s'enrichit en matières organiques. En 1991, ce genre de méthodes de conservation (y compris le semis direct) n'étaient utilisées que dans un tiers des terres cultivées du Canada; on les emploie maintenant de plus en plus, surtout dans les provinces des Prairies, où il est urgent de lutter contre l'érosion éolienne, de même qu'en Ontario (tableau S-5). Le travail de conservation du sol se pratique surtout dans les grandes exploitations produisant des céréales et du maïs. Ce type de façons culturales est peu répandu dans les provinces de l'Atlantique. Les méthodes de travail classiques restent utilisées dans les régions où l'on doit enfouir le fumier dans le sol.

La superficie de terres en jachères a diminué de 30 % depuis 20 ans (*voir* le tableau 2-1 au chapitre 2) : cette baisse a favorisé la diminution du risque d'érosion. Comme la culture continue et la prolongation des rotations se pratiquent davantage, la teneur des sols en matière organique s'est accrue.

Tableau S-5 Méthodes de travail du sol utilisées pour préparer le terrain en vue de l'ensemencement au Canada en 1991

Province	Superficie de terres ensemencées (1 000 hectares)	Proportion des terres ensemencées		
		Travail du sol par les méthodes classiques (%)	Méthodes favorisant la conservation du sol (%)	Semis direct (%)
Colombie-Britannique	241	83	12	5
Alberta	7 965	73	24	3
Saskatchewan	13 035	64	26	10
Manitoba	4 220	66	29	5
Ontario	2 510	78	18	4
Québec	850	85	12	3
Nouveau-Brunswick	60	85	13	2
Nouvelle-Écosse	30	88	8	4
Île-du-Prince-Édouard	110	91	8	8
Terre-Neuve	2	84	8	8
Canada	29 030	67	24	7

Source : Dumanski *et coll.*, 1994.

L'alternance de la culture des légumineuses et de plantes fourragères avec d'autres types de cultures aide à prévenir l'érosion et à enrichir le sol en matières organiques. En 1991, on cultivait des fourragères dans 42 % des exploitations agricoles du Canada, situées pour la plupart dans les régions humides du pays (*voir* le tableau 7-1 au chapitre 7).

Amélioration future de la qualité des sols

Ces 10 dernières années, lorsqu'on préconisait une agriculture de conservation, il était surtout question de moyens utilisables individuellement, tels que les façons culturales de conservation. Or, comme chaque terrain possède des caractéristiques qui lui sont propres, les méthodes de conservation ne conviennent pas toujours. Ainsi, dans les régions où il est bon d'ameublir le sol de temps à autre, les méthodes de travail classiques sont préférables aux techniques de conservation. De plus, la conservation du sol est généralement plus efficace lorsqu'on combine plusieurs méthodes à cette fin, par exemple, une technique de travail du sol avec la culture continue et la rotation prolongée. La gestion des sols doit donc être adaptée aux conditions locales, c'est-à-dire aux besoins particuliers du sol exploité : c'est à l'échelle de l'exploitation agricole qu'on y arrive le mieux.

Systèmes d'exploitation

Les pratiques culturales doivent être considérées comme un ensemble constituant un système d'exploitation (plan global de culture et de traitement des sols), lequel vise à préserver la santé et la productivité du sol. Comme dans une exploitation classique, dans un tel système, l'agriculteur doit décider des variétés à cultiver, de la répartition des cultures et de leur alternance, des méthodes de travail du sol et des apports dont il fera l'objet, notamment en ce qui touche les produits agrochimiques et les produits d'amendement organiques. Toutefois, l'agriculteur prend ses décisions en sachant qu'elles auront une influence sur la santé du sol et, plus généralement, sur l'environnement et sur la productivité. Les systèmes d'exploitation prennent aussi en compte le facteur «exploitant», dont la valeur varie selon les aptitudes, les compétences, le degré d'instruction de l'agriculteur et de son intérêt pour la conservation.

Pour accélérer l'instauration des pratiques culturales de conservation, il faut remplacer les politiques et les programmes favorisant les modes d'exploitation peu appropriés par des projets où sont utilisées les méthodes qu'on souhaite voir adopter. Cette nouvelle orientation suppose un examen approfondi des facteurs incitant les agriculteurs à utiliser certaines méthodes plutôt que d'autres. Il importe également d'améliorer le *transfert technologique* pour mieux renseigner les agriculteurs sur les facteurs qui influent sur la santé des sols et sur les méthodes culturales qui favorisent le maintien de la santé des sols.

En général, l'agriculteur qui opte pour des méthodes culturales de conservation a acquis la conviction que de telles pratiques sont avantageuses sur le plan économique. Or, bon nombre d'agriculteurs ont l'habitude d'évaluer le rendement de leur exploitation à court terme seulement, en fonction du marché

Un plan agricole intégré

Pour préparer un plan agricole intégré, il faut d'abord dresser l'inventaire des ressources et des pratiques de l'exploitation. On doit ensuite répondre à diverses questions :

- L'agriculteur participe-t-il à un programme agricole gouvernemental?
- De quelle source l'agriculteur obtient-il l'information sur laquelle il fonde ses décisions concernant les pratiques d'exploitation qu'il utilise?
- L'agriculteur dispose-t-il de ressources qu'il n'exploite pas actuellement? (ex. le fumier produit dans une exploitation d'élevage du voisinage).
- Quels obstacles, s'il y en a, freinent l'application de méthodes de conservation des sols?

Après avoir brossé un tableau général de l'exploitation, on peut rassembler de l'information plus détaillée sur la santé du sol et sur les pratiques en usage. Par exemple, on peut poser les questions suivantes :

- Dans quel état le sol de l'exploitation est-il? Y a-t-il des zones où il s'est particulièrement détérioré?
- Est-il possible d'améliorer l'efficacité des traitements effectués?
- Serait-il avantageux de changer de méthode de culture et (ou) de travail du sol?

(D'après Batie et Cox, 1994)

Avec un objectif bien défini, nous pourrons dire où nous voulons nous rendre, quel avantage nous tirerons d'avoir atteint le but et quelles sont nos chances de succès. C'est l'aune à laquelle nous mesurerons le fruit de nos efforts...Il s'agira ensuite de déterminer le prix à payer, de nous engager à le payer, puis de nous engager à honorer cet engagement. Nous serons alors prêts à commencer le combat.

Chris Maser
The Redefined Forest

La gestion des terres dans une optique de durabilité

Pratiquer *la gestion des terres dans une optique de durabilité* consiste à exploiter les terres de façon à en maintenir la productivité sans épuiser les ressources ou causer des dommages à l'environnement. Une telle forme de gestion suppose un changement de mentalité et d'habitudes. Il faut considérer la terre comme s'il s'agissait d'un compte en banque. Si on la traite comme une ressource inépuisable, c'est-à-dire qu'on «retire» sans arrêt de l'argent de notre compte, nos réserves finiront par s'épuiser. Si, au contraire, on pratique une intendance éclairée, consistant à remplacer les ressources utilisées, notre compte restera équilibré et donnera toujours un bon rendement.

Agriculture et Agroalimentaire Canada souscrit sans réserves aux principes de la gestion durable des terres. On est à mettre au point de nouvelles politiques et de nouvelles techniques pour soutenir l'établissement d'un système de gestion fondé sur cinq principes fondamentaux :

- productivité — maintien ou amélioration de la production et des services agricoles
- stabilité — réduction du risque lié à la production
- protection — conservation des ressources naturelles et préservation des sols et des eaux de la détérioration
- viabilité — possibilités économiques réalistes
- acceptabilité — maintien d'une opinion publique favorable.

(J. Dumanski, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ont.))

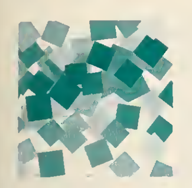
et des coûts. Ceux qui comprennent que le maintien des méthodes classiques ne peut amener qu'une détérioration plus marquée des sols et une baisse de rentabilité ont moins de réticence à se convertir aux méthodes de conservation.

Une nouvelle politique pour l'agriculture durable

Jusqu'ici, la politique agricole a surtout visé la productivité et a représenté l'agriculture comme un système fermé. Avec le principe de l'agriculture durable, il devient nécessaire de formuler une nouvelle politique tenant compte des effets environnementaux de l'agriculture et favorisant non seulement la productivité, mais aussi la conservation des ressources. Cette nouvelle politique doit viser les objectifs suivants :

- Faire reconnaître que l'agriculture est au nombre des activités humaines qui influent sur l'environnement tant localement qu'à une échelle plus générale.
- Maintenir et améliorer la santé des sols agricoles, une démarche essentielle au maintien et à l'amélioration de la santé de l'environnement et à la sauvegarde de la rentabilité à long terme des exploitations agricoles.
- Maintenir et améliorer la santé des sols en préconisant des pratiques agricoles favorisant l'enrichissement en matières organiques et la protection de la structure des sols.
- Faire mieux connaître les facteurs influant sur la santé des sols et les moyens de maintenir et d'améliorer celle-ci en favorisant la poursuite des travaux de recherche et des programmes de surveillance.
- Conserver les terres agricoles en éliminant les formes d'aménagement non agricoles et en protégeant les sols de l'érosion.
- Favoriser les méthodes de conservation des ressources et notamment:
  - le recyclage des déchets organiques (fumier, compost, copeaux de bois et boues d'épuration)
  - la réduction de la consommation de combustibles fossiles et de produits agrochimiques et l'amélioration de leur rendement
  - la préservation de la qualité des eaux (principalement en limitant autant que possible les déplacements de sol et de produits agrochimiques).
- Aider les agriculteurs qui se convertissent à un système d'exploitation axé sur la conservation.

Ainsi établie, la politique agricole doit viser la réduction de la détérioration des sols agricoles et de l'environnement en général, ainsi que le maintien de la santé des sols, grâce à des programmes consacrés aux régions et aux exploitations touchées. Il importe que les responsables des politiques prennent en considération les résultats des travaux de recherche et des programmes de surveillance en cours, pour être en mesure de formuler une politique agricole qui permette d'atteindre véritablement et rapidement le but visé.



Glossaire

Acide Ayant un pH (moins de 7); s'oppose à **alcalin**.

Agrégat Particules de sable, de limon et d'argile liées en une motte, surtout par la matière organique.

Agrégation Regroupement des particules de sol en **agrégat**.

Agriculture de remplacement En agriculture, école de pensée considérant les humains comme un élément faisant partie d'un vaste système écologique, et dont les besoins doivent s'équilibrer avec la productivité de la Terre, sans l'épuiser ni la dégrader.

Agriculture durable Mode d'agriculture qui préserve à long terme la capacité de production du sol.

Alcalin Se dit d'une substance dont le pH est élevé (plus de 7); également basique; s'oppose à **acide**.

Amendement Substance comme le fumier et le compost ajoutée au sol pour en accroître la productivité.

Analyse de la tolérance des récoltes Tests visant à détecter la capacité d'une culture à pousser dans un type donné de sol.

Aquifère Assise ou strate géologique suffisamment étendue et poreuse pour alimenter constamment en **eau souterraine** un ou plusieurs puits ou sources.

Archives pédologiques Collection d'échantillons de sol.

Aridité Sécheresse.

Base de données Ensemble de données.

Biocide Pesticide naturel.

Boues d'épuration Déchets solides issus du traitement des effluents domestiques et industriels rejetés dans les égouts.

Brise-Vent Bande d'arbres ou de buissons plantés à la limite d'un champ pour briser le vent; *aussi appelé* coupe-vent.

Capacité d'échange cationique Capacité du sol de retenir et de libérer les ions échangeables, y compris les éléments nutritifs.

Cation Ion chargé positivement

Charge de boues Quantité maximale de **boues d'épuration** qu'on peut épandre au sol sans danger.

Colluvion Mélange hétérogène de matériaux qui se sont déposés, principalement sous l'action de la gravité, au pied des pentes ou des falaises.

Compactage du sol Phénomène causé par la compression des particules du sol, réduisant l'espace poral entre celles-ci.

Compost Débris organiques, auxquels on a généralement ajouté du sol, que l'on a mis en tas et arrosés et qu'on laisse se décomposer; utilisé comme **amendement**.

Concentration maximale acceptable Concentration d'une substance (bactéries, pesticides, nitrates, etc.) dans l'eau potable au-delà de laquelle elle peut menacer la

santé de la population humaine ou animale.

Conditions chimiques d'enracinement Caractéristiques chimiques du sol qui contrôlent la croissance des racines.

Conditions physiques d'enracinement Caractéristiques physiques, telle la capacité de rétention d'eau et la porosité, qui contrôlent la croissance des racines.

Conductivité hydraulique Pour un sol, capacité de transmission de l'eau à travers les pores; exprime la **perméabilité**.

Contaminant aquatique Substance dans l'eau ayant un niveau supérieur à la concentration maximale acceptable qui pénètre dans l'eau superficielle par ruissellement ou dans l'**eau souterraine** par lessivage.

Contaminant du sol Substance chimique présente dans le sol en teneurs supérieures aux concentrations maximales acceptables.

Contaminant inorganique Contaminant du sol qui ne contient pas de carbone, comme les métaux lourds.

Contaminant organique Contaminant du sol carboné.

Contamination Présence, dans le sol ou l'eau, d'une substance dont la teneur dépasse la **concentration maximale acceptable**.

Contre-ensemencement Compagnonnage; semer une culture secondaire avec la culture primaire pour laisser une couverture végétale après la récolte de la culture primaire; *voir* **sous-ensemencement**.

Cote d'omniprésence dans les eaux souterraines Valeur calculée selon la facilité avec laquelle le pesticide est transporté dans le sol par l'eau qui percole vers le bas et selon la vitesse avec laquelle les microorganismes du sol et les réactions chimiques décomposent le pesticide en sous-produits inoffensifs.

Couvert végétal permanent Culture vivace, fourragère par exemple, qui protège le sol durant toute l'année.

Couverture végétale hivernale Couverture végétale ensemencée à l'automne pour protéger le sol hors de la saison de croissance.

Couverture végétale Végétation (y compris cultures) et résidus de culture laissés à la surface du sol.

Cuirasse Couche de sol durci en surface ou sous la surface, à la porosité grandement réduite.

Culture continue Ensemencement durant chaque saison de croissance (aucune année de jachère).

Culture dérobée Habituellement, culture de moindre valeur qu'on intercale entre les rangées d'une culture principale ou qu'on ensemence à l'automne après avoir récolté la culture principale, afin de capter les surplus de nutriments comme l'azote dans le sol.

Culture en bandes alternantes Alterner en bandes étroites des cultures labourées, perpendiculairement à une longue pente.

Culture en courbes de niveau Culture suivant le modelé du terrain plutôt que le sens de la pente.

Cultures fourragères Cultures broutées par les animaux ou moissonnées pour alimenter le bétail (ex. la luzerne).

Cycle du carbone Circuit effectué par le carbone : fixation par la photosynthèse, apport au sol comme résidu végétal et animal, et ensuite libération par la décomposition et la minéralisation.

Cycle hydrologique Circuit naturel où l'eau passe de l'état de vapeur dans l'atmosphère à celui de précipitations qui tombent sur terre ou dans l'eau, et retourne ensuite dans l'atmosphère par l'action de l'évaporation et de la transpiration.

Décomposition Processus de désagrégation des débris organiques

et inorganiques (résidus végétaux et animaux).

Dégradation du sol Processus général d'altération d'un sol, qui convient moins à un objectif particulier, par exemple la production végétale.

Degrés-jours de croissance Mesure de l'énergie thermique utile pour la production végétale.

Demi-vie Temps nécessaire à la dégradation, à la transformation ou à l'élimination de la moitié d'une quantité donnée de substance chimique.

Densité apparente Masse de sol sec par unité de volume brut.

Dérivation Détourner un cours d'eau, en tout ou en partie, au moyen de petits barrages et digues de terre.

Drainage souterrain Réseaux de drainage artificiels, comme les canalisations enterrées, que l'on aménage sous la surface du sol pour évacuer l'eau du sol.

Eau souterraine Eau du sous-sol, dont la surface supérieure forme le **niveau phréatique** dans les matériaux géologiques tels que les sols, les dépôts de sable et de gravier et les formations de l'assise rocheuse; elle peut se déplacer librement par gravité.

Eau superficielle Eau qu'on trouve à la surface de la terre, comme les cours d'eau, les étangs, les lacs et les océans.

Écosystème agricole (ou agro-écosystème) Écosystème sous gestion agricole; système ouvert et dynamique relié aux autres écosystèmes par les flux d'énergie et de matière.

Écoulement d'eau souterraine Eau souterraine qui monte à la surface.

Écozone Surface distincte du point de vue climatique, végétal, géologique et pédologique.

Effluent Déchets liquides rejetés par les industries et d'autres sources dans les réseaux d'égout et les voies d'eau.

Engrais vert Tout matériel végétal enfoui dans le sol pendant qu'il est encore vert pour servir d'engrais naturel ou d'**amendement**.

Érodabilité Mesure de la susceptibilité d'un sol à l'**érosion**.

Érosion du sol Déplacement de sol d'un endroit à l'autre, surtout sous l'action du vent et de l'eau mais aussi par le travail cultural.

Érosion en nappe Enlèvement, par l'eau de ruissellement, d'une couche de sol relativement uniforme à la surface.

Érosion par éclaboussement Déplacement de particules de sol par les gouttes de pluie.

Érosion par le travail du sol Déplacement du sol sous l'action du travail cultural.

Espace poral Dans un sol, espace non occupé par des particules de sol.

Espèce nuisible Espèce indésirable pour la population humaine ou qui nuit à des cultures et à des animaux dont la population humaine a besoin pour s'alimenter, pour s'abriter ou comme source de fibres.

État d'ameublissement Condition physique du sol quant à ses qualités pour le labour et l'ensemencement.

Ferme mixte Ferme où l'on pratique la culture vivrière ou marchande, la culture fourragère et l'élevage du bétail.

Fertilisation Apport dans le sol d'éléments nutritifs pour les végétaux sous forme d'engrais commer-ciaux, de fumier animal, d'**engrais vert** et d'autres **amendements**.

Fertilité du sol Mesure de la quantité d'éléments nutritifs dans le sol disponibles pour la croissance des végétaux.

Fluvial Relatif aux cours d'eau.

Friabilité Degré auquel un sol peut s'émietter.

Gestion des résidus Maintien à la surface du sol d'une couverture de résidus de culture.

Gradient osmotique Différence des concentrations de sel entre deux solutions qui gouvernent le transfert de l'eau. L'eau se déplace de la solution à plus faible concentration en sel vers celle qui a une plus forte concentration.

Horizon Voir horizons de sol.

Horizon de sol Couche distincte dans le profil du sol; horizon primaires habituellement baptisés A, B ou C.

Humus Portion organique bien décomposée du sol, formant un matériau brun foncé, poreux et spongieux qui dégage une agréable odeur terreuse.

Hydrologique Qui a trait à l'eau.

Indicateur Facteur qui indique ou aide à définir l'état d'un système plus vaste.

Indicateur agro-environnemental Mesure du changement survenu dans l'état des ressources naturelles utilisées ou affectées par l'agriculture, ou dans les activités agricoles influençant l'état de ces ressources.

Indicateur de qualité du sol Propriété, fonction ou état du sol qui aide à décrire la qualité de ce dernier.

Indice de la qualité des sols Mesure de l'état de santé d'un sol à un moment donné; «bulletin de santé» du sol.

Indice de qualité inhérente du sol (QIS) Mesure permettant d'évaluer la qualité inhérente du sol à partir de données à grande échelle sur les sols, le paysage et le climat.

Indice de susceptibilité de la qualité du sol (SQS) Sert à repérer les zones agricoles où diverses pratiques d'utilisation et de gestion des terres risquent d'altérer la qualité du sol.

Indice du risque de salinité Probabilité qu'un secteur présente un degré donné de **salinité**.

Intendance agricole Gestion d'une entreprise agricole, y compris la responsabilité d'utiliser efficacement les ressources naturelles et de prendre soin de l'environnement.

Intensité culturale Portion du territoire agricole mise en culture.

Intervalle d'eau non limitatif Mesure de la réserve d'eau du sol assimilable par les végétaux.

Irrigation Arrosage artificiel de la terre au moyen de canaux, de tuyaux ou d'asperseurs.

Jachère Terre laissée en friche durant au moins 1 an.

Lacustre Qui a trait aux lacs.

Lessivable Se dit d'une substance soluble qui percole facilement dans le profil du sol.

Lessivage Élimination de matériaux en solution par l'eau qui percole dans le profil du sol.

Lieu témoin (site repère) Endroit où certaines propriétés et certains processus pédologiques peuvent être mesurés de manière uniforme à intervalles réguliers.

Limite de détection (LD) : Plus faible concentration d'une substance qui peut être mesurée avec précision par une méthode d'analyse donnée.

Limite de plasticité Teneur en eau à partir de laquelle le sol passe d'un état semi-solide à un état plastique.

Lit de semences Couche superficielle de sol préparée en vue d'un ensemencement.

Lutte antiparasitaire intégrée Limitation des organismes nuisibles à des niveaux raisonnables grâce à une combinaison de rotations culturales, de pratiques culturales et de mesures biologiques et chimiques.

Lutte contre l'érosion Méthodes employées pour réduire les pertes de sol résultant de l'**érosion**.

Macro-élément Élément nutritif nécessaire en grandes quantités à la croissance et au développement des végétaux (carbone, hydrogène, oxygène, azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, soufre). *Voir* **micro-élément**.

Macroporosité Volume des **pores** de grande taille dans le sol.

Marin Relatif à la mer.

Marmorisation Coloration mêlée de gris et d'orange provenant d'effets réduits ferrugineux.

Matière organique Débris végétaux et animaux décomposés.

Matière organique du sol Fraction du sol qui comprend les débris végétaux et animaux à divers stades de décomposition, les cellules et les tissus des organismes du sol, ainsi que les substances produites par les microbes du sol.

Métaux lourds Éléments métalliques que l'on sait contaminer certains sols, comme l'arsenic, le cadmium, le chrome, le cobalt, le cuivre, le plomb, le mercure, le molybdène, le nickel, le sélénium et le zinc.

Méthémoglobinémie Déficience en oxygène produite, spécialement chez les bébés, par l'absorption dans le flux sanguin des nitrites du tube digestif; ce trouble diminue la capacité de transport d'oxygène de l'hémoglobine.

Micro-élément Élément chimique (élément trace) dont les végétaux ont besoin en petites quantités pour croître et bien se développer (fer, manganèse, molybdène, bore, cuivre, zinc, chlore). *Voir* **macro-élément**.

Microorganismes Plantes et animaux microscopiques qui se trouvent dans le sol et contribuent activement à la décomposition.

Minéralisation Conversion d'une substance organique en une substance inorganique résultant d'une décomposition microbienne.

Modèle de simulation informatisé Modèle mathématique traité par ordinateur, servant à décrire divers processus pédologiques et à prédire l'évolution de ces processus en cas de modification de certaines variables.

Monoculture Culture d'une seule espèce végétale sur une vaste superficie durant de nombreuses années.

Monoculture en rangs Culture en rangs d'un seul type de récolte durant de nombreuses années.

Morainique Qualifie les matériaux déposés par les mouvements glaciaires.

Moutonné Inégal, accidenté.

Nitrate Forme prédominante d'azote dissous dans le sol et l'eau souterraine, et principale source d'azote pour les végétaux supérieurs.

Niveau de fond Concentration naturelle d'une substance dans un sol où l'on n'a jamais appliqué cette substance.

Niveau phréatique Surface supérieure de l'**eau souterraine**, à une profondeur où la pression de l'eau équivaut à la pression atmosphérique.

Non-labour Pratique culturale de semis direct qui évite le travail de la surface du sol.

Oxydation microbienne Processus par lequel les microorganismes du sol «brûlent» la matière organique du sol par leur métabolisme normal.

Pan Couche de sol solidement compactée, durcie ou très argileuse.

Particules fines Très petites particules du sol; fraction limoneuse et argileuse.

Pâturage amélioré Superficie améliorée par ensemencement, drainage, irrigation, fertilisation, débroussaillage ou désherbement,

à l'exclusion des surfaces récoltées pour le foin, l'ensilage ou la semence.

Pénétration diffuse Pénétration de produits agrochimiques dans les eaux souterraines sur une vaste superficie, habituellement par lessivage à travers le profil du sol.

Pénétration ponctuelle Pénétration localisée de produits agrochimiques dans l'eau potable, par exemple lors d'un déversement accidentel ou par l'infiltration de fumier dans les puits domestiques.

Pénétromètre Appareil servant à mesurer la résistance du sol en y faisant pénétrer un petit cône.

Perméabilité Facilité avec laquelle des gaz (comme l'air) ou des fluides (comme l'eau) peuvent traverser un sol.

Pesticide Produit chimique qui détruit ou réprime des **espèces nuisibles**; comprend les herbicides, les insecticides, les fongicides, les nématocides, les rodenticides et les acaricides.

Pilier Colonne de sol supportant des pierres et des débris végétaux; signe d'érosion hydrique.

Plaine alluviale Surface plate ou ondulée qui est de niveau ou légèrement inclinée, formée de matériaux déposés par l'eau courante sur les plaines d'inondation récentes.

Politique Principes et lignes de conduite adoptés par le gouvernement pour concrétiser certains objectifs, comme l'agriculture durable.

Pores du sol Espaces entre les particules de sol.

Porosité du sol Dans un sol, quantité d'espace occupée par des particules solides.

Pourridié Maladie des plantes, caractérisée par un pourrissement des racines.

Pouvoir de dissipation Pour un sol, capacité d'adsorber les composés chimiques (de les fixer) et de les dégrader.

Produit agrochimique Produit chimique employé dans la production végétale.

Profil de sol Coupe verticale d'un sol à travers tous ses **horizons**.

Qualité du sol Capacité d'un sol à soutenir la croissance de cultures sans se dégrader ou nuire autrement à l'environnement (**santé du sol**).

Qualité inhérente du sol Qualité naturelle d'un sol, déterminée par les matériaux parentaux et les processus de formation du sol.

Ravin Canal creusé à la surface du sol par une érosion hydrique forte mais intermittente et suffisamment profond pour nuire au travail du sol.

Régime d'assolement Plan global de gestion des récoltes et des sols, faisant appel à une combinaison de pratiques de gestion.

Relief en surface Élévations et dépressions à la surface de la terre.

Rendement de culture Qualité et quantité d'une culture récoltée.

Résidu de culture Matériel végétal (feuilles, tiges, racines) laissé en place après la moisson.

Ressources non renouvelables Ressources naturelles qui, une fois épuisées, sont impossibles à remplacer à l'échelle temporelle de l'homme (ex. les combustibles fossiles).

Rétention des éléments nutritifs Retenue des nutriments.

Rigole Petit canal d'eau formé par l'érosion hydrique à la surface du sol.

Risque inhérent d'érosion Risque d'érosion sur un sol nu.

Risque réel d'érosion Risque d'érosion, compte tenu de la couverture végétale et des pratiques

d'utilisation et de gestion des terres.

Rotation culturale Faire pousser successivement au moins deux variétés de culture; par exemple soya-maïs ou luzerne-luzerne-blé.

Rotation étendue Ordre cultural prolongé par l'ajout d'autres variétés de cultures.

Ruissellement Portion des précipitations totales qui s'écoule dans les cours d'eau de surface au lieu de s'infiltrer dans le sol.

Salinisation Processus naturel d'accumulation des sels dans le sol.

Salinité Teneur en sels solubles d'un sol.

Santé du sol Capacité d'un sol à soutenir la croissance de cultures sans se dégrader ou nuire autrement à l'environnement (**qualité du sol**).

Sédiment Particules de sol déplacées et déposées par le vent, l'eau ou la gravité.

Semis direct Ensemencement au moyen d'un semoir qui plante directement les graines dans des trous ou les sillons et les recouvre de sol.

Série de données de référence Première série de mesures effectuées en un lieu.

Sols à texture fine Sols, comme l'argile et le loam argileux, composés de petites particules; également **sol à texture lourde.**

Sol à texture grossière Sol (ex. le sable et le loam sableux) composé de particules grossières; *aussi* **sol à texture légère.**

Sols bruns Sols chernozémiques caractérisés par une surface brune, par un horizon B d'un brun plus pâle et en général par un horizon C calcaire.

Sols brunisoliques Ordre de sols qu'on trouve dans des régions aux conditions climatiques et végétales très variées, et qui ont tous des horizons Bm ou Btj.

Sols brun foncé Sols chernozémiques caractérisés par une surface brun foncé, un horizon B brunâtre plus clair et, habituellement, un horizon C calcaire.

Sols chernozémiques Ordre de sols se formant sous des prairies au climat frais subaride à subhumide, caractérisés par un horizon de surface minéral assombri par l'accumulation de matière organique.

Sols gleysoliques Ordre de sols se formant dans des conditions d'humidité et caractérisés par la présence de fer réduit et d'autres éléments, des couleurs grisâtres et une marbrure marquée.

Sols gris Sols luvisoliques caractérisés par une surface très colorée, un horizon B brunâtre et habituellement un horizon C calcaire.

Sols gris foncé Sols chernozémiques caractérisés par une surface gris foncé, un horizon B brunâtre et, habituellement, un horizon C calcaire.

Sols luvisoliques Ordre de sols formés dans des régions forestières sous climat modéré à frais où l'argile silicieuse enlevée d'une partie de l'horizon A s'est accumulée dans une partie de l'horizon B.

Sols noirs Sols chernozémiques caractérisés par une surface très sombre, par un horizon B brunâtre et en général par un horizon C calcaire.

Sol organique Sol contenant une forte teneur en **matière organique**.

Sols podzoliques Ordre de sols se formant sous des forêts conifères, généralement à partir de matériaux parentaux grossiers, et contenant un horizon B à forte concentration de fer et d'aluminium.

Sous-sol Couches de sol sous-jacentes au niveau atteint par le labour, entre la couche arable et le matériau parental.

Structure du sol Propriétés physiques d'un sol relatives à la disposition

et à la stabilité des agrégats et des pores du sol.

Suintement d'eau saline Déversement salin intermittent ou continu à la surface ou près de la surface du sol dans des conditions de sol sec, qui réduit ou stoppe la croissance des cultures.

Tampon naturel Sol servant à alléger le stress subi par d'autres parties de l'environnement, par exemple en détoxifiant des contaminants chimiques.

Terrasses Surface en gradins qui brise la continuité d'une pente.

Terres agricoles Ensemble des terrains servant à la culture, au pacage et au pâturage, jachères, bâtiments et enclos de ferme, boisés, marécages et marais.

Terres de culture Superficie totale où l'on fait pousser de grandes cultures, des fruits, des légumes, des produits de pépinière et du gazon.

Terres de culture améliorées Total des **terres en culture**, des **jachères** et des **pâturages améliorés**.

Terres cultivées Terres travaillées et servant à la production végétale; comprend les sols mis en jachère.

Texture du sol Proportions relatives de sable, de limon et d'argile dans un sol.

Toxique Nocif pour les végétaux, les animaux ou les humains.

Transfert technologique Transmission à des groupes d'usagers d'un savoir-faire scientifique et technologique utile.

Travail classique Travailler le sol à des fins d'amélioration agricole; englobe le labourage, le travail préparatoire à l'ensemencement et la lutte contre les mauvaises herbes.

Travail de conservation Méthodes culturales qui laissent une couverture de résidus de culture à la surface du sol et qui réduisent (travail réduit ou minimal) ou éliminent complètement (non-labour) les opérations de labour.

Travail du sol Préparation mécanique du sol pour l'ensemencement ou la lutte contre les mauvaises herbes.

Utilisation des terres Mode d'utilisation des terres: pâturage, verger, production de grande culture, etc.

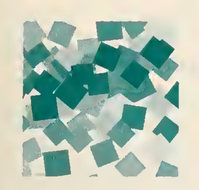
Valeurs limites Points où la qualité du sol est susceptible de changer.

Voie d'eau gazonnée Bande de terre gazonnée qui sert de fossé de ruissellement; méthode anti-érosion.

Zone capillaire Zone au travers de laquelle l'eau est tirée de la nappe phréatique à la surface du sol par l'action capillaire.

Zone d'alimentation Endroit où l'eau percole dans le sol jusqu'à l'**eau souterraine**.

Zone d'émergence Endroit où l'eau souterraine apparaît à la surface du sol.



Lectures suggérées

Introduction

Parr, J.F., R.I. Papendick, S.B. Hornick et R.E. Meyer. 1992. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. Journal of Alternative Agriculture 7:5–11.

Chapitre 1 Comprendre la santé des sols

Doran, J.W. et T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. Pages 3–21 *in* J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek et B.A. Stewart (éd.) Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication No. 35, 244 pp.

Chapitre 3 Un cadre géographique pour l'évaluation de la qualité des sols

Canadian Global Change Program. 1995. Looking ahead: long-term ecological research and monitoring in Canada. Report of the long-term ecosystem and monitoring panel of the Canadian Global Change Program, Royal Society of Canada. Technical Report Series No. 95-1, (in press).

Hillel, D. 1991. Out of the earth: civilization and the life of the soil. University of California Press, Berkeley, Calif. 321 pp.

Chapitre 4 Lieux repères destinés à la surveillance de la santé des sols agricoles

Parr, J.F., R.I. Papendick, S.B. Hornick et R.E. Meyer. 1992. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. Journal of Alternative Agriculture 7:5–11.

Wang, C., B.D. Walker, H.W. Rees, L.M. Kozak, M.C. Nolin, W. Michalyna, K.T. Webb, D.A. Holmstrom, D.King, E.A. Kenney et E.F. Woodrow. 1994. Benchmark sites for monitoring agricultural soil quality in Canada. Centre for Land and Biological Resources Research, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont. Soil Quality Evaluation Program Technical Report 1, 76 pp.

Chapitre 5 Modification de la matière organique du sol

Campbell, C.A., R.P. Zentner, H.H. Janzen et K.E. Bowren. 1990. Crop rotation studies on the Canadian prairies. Research Branch, Agriculture Canada. Publication 1841/E. 133 pp.

Carter, M.R. 1994. A review of conservation tillage strategies for humid temperate regions. Soil & Tillage Research 31(4):289–301.

Dumanski, J., D.R. Coote, G. Luciuk et C. Lok. 1986. Soil conservation in Canada. Journal of Soil and Water Conservation 41:204–210.

Gregorich, E.G., M.R. Carter, D.A. Angers, C.M. Monreal et B.H. Ellert. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. Canadian Journal of Soil Science 74:367–385.

Power, J.F. 1994. Understanding the basics: Understanding the nutrient cycling process. Pages 16–23 *in* Nutrient management.

Special Supplement to Journal of Soil and Water Conservation 49(2).

Reganold, J.P., R.I. Papendick et J.F. Parr. 1990. Sustainable agriculture. Scientific American June:112–120.

Swift, M.J., O.W. Heal, and J.M. Anderson. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. University of California Press, Berkeley, Calif. 372 pp.

Tarnocai, C. 1994. Amount of organic carbon in Canadian soils. Pages 67–82 *in* Transactions of 15th world congress of soil science, vol. 6a, Commission V: Symposia. Acapulco, Mexico. International Society of Soil Science.

Chapitre 6 Changements de la structure du sol

Anon. 1986. A growing concern: Soil degradation in Canada. Science Council of Canada, Ottawa, Can. 24 pp.

Anon. 1988. Assessment of soil compaction and structural degradation in the lowland clay soils. Report of the Soil and Water Environmental Enhancement Program (Technology Evaluation and Development sub-program). CAN-AG Enterprises and Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont. 70 pp.

Anon. 1994. Best management practices: Soil management. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Toronto, Ont., and Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont. 68 pp.

Carter, M.R. 1994. A review of conservation tillage strategies for humid temperate regions. Soil & Tillage Research 31:289–301.

Kay, B.D. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. Pages 1–52 *in* B.A. Stewart (ed.) Advances in soil science. Springer-Verlag, New York, N.Y.

Lafond, G.P., Heather Loeppky et D.A Derksen. 1992. The effects of tillage systems and crop rotations on soil water conservation, seedling establishment, and crop yield. Canadian Journal of Plant Science 72:103–115.

Larney, F.J., C.W. Lindwall, R.C. Izaurralde et A.P Moulin. 1994. Tillage systems for soil and water conservation on the Canadian prairie. Pages 305–328 *in* M.R. Carter (ed.) Conservation tillage in temperate agroecosystems. Lewis Publ., Boca Raton, Fla.

Tabi, M., L. Tardif, D. Carrier, G. Laflamme et M. Rompré. 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Rapport synthèse. Min. de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec. 71 pp.

Topp, G.C., Y.T. Galganov, K.C. Wires et J.L.B. Culley. 1994. Non-limiting water range (NLWR): An approach for assessing soil structure. Soil Quality Evaluation Program, Technical Report 2. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont. 36 pp.

Vyn, T.J., K. Janovicek et M.R. Carter. 1994. Tillage requirements for annual crop production in eastern Canada. Pages 47–71 *in* M.R. Carter (ed.) Conservation tillage in temperate agroecosystems. Lewis Publ., Boca Raton, Florida.

Chapitre 7 Érosion

Anon. 1994. (Series) Best management practices: Field Crop Production, 133 pp.; Soil Management, 68 pp.; Water Management, 93 pp. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Toronto, Ont., and Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont.

Canada Soil Inventory. 1989–. Water erosion risk— (by province). Land Resource Research Centre, Research Branch, Ottawa, Ont. Agriculture Canada Publication (each a kit folder including 10-page booklet and map).

Canada Soil Inventory. 1989–. Wind erosion risk— (by province). Land Resource Research Centre,

Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Ont. Agriculture Canada Publication (Alberta and Manitoba each a kit folder including 10-page booklet and map; Saskatchewan map only).

Great Lakes Advisory Committee, G.J. Wall, Chair. 1994. Great Lakes Water Quality Program—Summary of Achievements. 1989–1994. Pest Management Research Centre, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, London, Ont. brochure, 6 pp.

Standing Senate Committee on Agriculture, Fisheries and Forestry, Hon. H.O. Sparrow, Chair. 1984. Soil at risk—Canada's eroding future. Senate of Canada, Ottawa, Ont. 129 pp.

Dumanski, J., L.J. Gregorich, V. Kirkwood, M.A. Cann, J.L.B. Culley et D.R. Coote. 1994. The status of land management practices on agricultural land in Canada. Centre for Land and Biological Resources Research, Agriculture and Agri-Food Canada, Technical Bulletin 1994-3E, 46 pp.

Chapitre 8 Salinisation des sols

Anon. 1973. Irrigation, drainage and salinity. An international source book. FAO/UNESCO, Rome, Italy. 510 pp.

Anon. 1982. Soil salinity. Proceedings of the first annual western provincial conference rationalization of water and soil research and management, Lethbridge, Alta. Government of Alberta. 379 pp.

Anon. 1991. Dryland saline seep control. Alberta Agriculture and Agriculture Canada. 12 pp.

Anon. 1992. Dryland salinity investigations procedures manual. Conservation and Development Branch Alberta Agriculture and PFRA, Agriculture and Agri-Food Canada. 110 pp.

Henry, J.L., W.R.A. Harron et E. Flaten. 1987. The nature and management of salt-affected land in Saskatchewan. Soils and Crops Branch, Saskatchewan Agriculture. Agdex 518. 23 pp.

Holms, H.M. and J.L. Henry. 1982. Understanding salt-affected soils. Plant Industry Branch, Saskatchewan Agriculture. 14 pp.

Steppuhn, H. et D. Curtin (eds.). 1992. Salinity and sustainable agriculture. Research Branch, Agriculture Canada. Swift Current Research Station, Swift Current, Sask. Prairie Salinity Publication No. 1. 192 pp.

Chapitre 9 Contaminations des sols agricoles

Adriano, D.C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer-Verlag, New York, N.Y.

Freedman, B. et T.C. Hutchinson. 1981. Sources of metal and elemental contamination of terrestrial environments. Pages 35–94 *in* N.W. Lepp (ed.) Effect of heavy metal pollution on plants. Applied Science Publishers, New York, N.Y.

Garrett, R.G. 1994. The distribution of cadmium in A horizon soils in the prairies of Canada and adjoining United States. Pages 73–82 *in* Current Research 1994-B. Geological Survey of Canada.

Giroux, M., M. Rompré, D. Carrier, P. Audesse et M. Lemieux. 1992. Caractérisation de la teneur en métaux lourds totaux et disponibles des soil du Québec. Agrosol 5(2):46–55.

Kabata-Pendias, A. et H. Pendias. 1992. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Fla.

McKeague, J.A. et M.S. Wolynetz. 1980. Background levels of minor elements in some Canadian soils. Geoderma 24:299–307.

Ontario Ministry of Agriculture and Food and Ontario Ministry of the Environment. 1992. Guidelines

for sewage sludge utilization on agricultural lands. Sludge and Waste Utilization Committee, OMAF and OME, Toronto, Ont.

Ontario Ministry of Environment and Energy. 1994. Proposed guidelines for the cleanup of contaminated sites in Ontario. Toronto, Ont. 74 pp.

Webber, M.D., H.D. Monteith et D.G.M. Corneau. 1983. Assessment of heavy metals and PCBs at sludge application sites. Journal of Water Pollution Control Federation 55:187–195.

Webber, M.D., 1994. Industrial organic compounds in selected Canadian municipal sludges and agricultural soils. Report prepared for Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, October 1994. 100 pp.

Webber, M.D. et J.A. Nichols. 1995. Organic and metal contaminants in Canadian municipal sludges and a sludge compost. Report prepared for Wastewater Technology Centre, Burlington, Ont.

Chapitre 10 Contamination agrochimique des eaux souterraines

CCREM (Canadian Council of Resource and Environment Ministers). 1987. Canadian water quality guidelines. Task Force on Water Quality Guidelines, Environment Canada, Ottawa, Ont. (and subsequent appendixes 1989–).

Environment Canada, Conservation and Protection. 1990. Fact Sheet No. 5: Groundwater—nature's hidden treasure. Inland Waters Directorate, Environment Canada, Ottawa, Ont. 12 pp.

Hargrove, W.L. (éd.). 1991. Cover crops for clean water. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa. 198 pp.

Henry, J.L. et W.A. Meneley. 1993. Fertilizers and groundwater nitrate. I Review of literature. II Nitrates in western Canadian groundwater. Western Canada Fertilizer Association, Surrey, B.C. 55 pp.

MacRae, B. 1991. Backgrounder: The characterization and identification of potentially leachable pesticides and areas vulnerable to groundwater contamination by pesticides in Canada. Pesticides Directorate, Agriculture Canada, Ottawa, Ont. 35 pp. + appendixes.

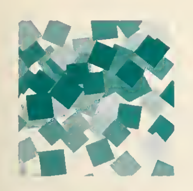
Milburn, P., W. Nicholaichuk et C. Topp (eds.). 1992. Agricultural impacts on water quality: Canadian perspectives. Canadian Agricultural Research Council, Ottawa, Ont. 207 pp.

Millette, J.A. et M. Torreiter. 1992. Nonpoint source contamination of groundwater in the Great Lakes basin: a review. Centre for Land and Biological Resources Research, Agriculture Canada, Ottawa, Ont. 21 pp.

Résumé

Batie, S.S. et C.A. Cox. 1994. Soil and water quality: an agenda for agriculture. A summary. Journal of Soil and Water Conservation 49(5):456–462.

Dumanski, J., L.J. Gregorich, V. Kirkwood, M.A. Cann, J.L.B. Culley et D.R. Coote. 1994. The status of land management practices on agricultural land in Canada. Centre for Land and Biological Resources Research, Agriculture and Agri-Food Canada, Technical Bulletin 1994-3E, 46 pp.



Affiliations des auteurs

D.F. Acton
CRTRB/DT, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Équipe pédologique de la Saskatchewan, Édifice de l'agriculture 5c26, Université de la Saskatchewan, 51 Campus Drive, Saskatoon, SK S7N 5A8

L.J. Gregorich
59 rue Hackett, Ottawa, ON K1V 0P6

Chapitre 3

K.B. MacDonald
CRTRB/DT, Équipe pédologique, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Division des ressources, 70 rue Fountain , Guelph, ON N1H 3N6

W.R. Fraser (AAC, Winnipeg, Man.)

G.W. Lelyk (AAC, Winnipeg, Man.)

F. Wang (AAC, Guelph, Ont.)

Chapitre 4

C. Wang
CRTRB/DT, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Édifice K.W. Neatby, Ferme expérimentale centrale, Ottawa, ON K1A 0C6

L.J. Gregorich (Ottawa, Ont.)

D.A. Holmstrom (AAC, Charlottetown, Î.-P.-É.)

E.A. Kenney (AAC, Vancouver, C.-B.)

D.J. King (AAC, Guelph, Ont.)

L.M. Kozak (AAC, Saskatoon, Sask.)

W. Michalyna (AAC,Winnipeg, Man.)

M.C. Nolin (AAC, Sainte-Foy, Qc)

H.W. Rees (AAC, Fredericton, N.-B.)

B.D. Walker (AAC, Edmonton, Alb.)

K.T. Webb (AAC, Truro, N.-É.)

E.F. Woodrow (AAC, Mount Pearl, T.-N.)

Chapitre 5

E.G. Gregorich
CRTRB/DT, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Édifice K.W. Neatby, Ferme expérimentale centrale, Ottawa, ON K1A 0C6

D.A. Angers (AAC, Sainte-Foy, Qc)

C.A. Campbell (AAC, Swift Current, Sask.)

M.R. Carter (AAC, Charlottetown, Î.-P.-É.)

D.F. Drury (AAC, Harrow, Ont.)

B.H. Ellert (AAC, Lethbridge, Alb.)

P. Groenevelt (Université de Guelph, Guelph, Ont.)

D.A. Holmstrom (AAC, Charlottetown, Î.-P.-É.)

C.M. Monreal (AAC, Ottawa, Ont.)

H.W. Rees (AAC, Fredericton, N.-B.)

R.P. Voroney (Université de Guelph, Guelph, Ont.)

T.J. Vyn (Université de Guelph, Guelph, Ont.)

Chapitre 6

G.C. Topp
CRTRB/DT, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Édifice K.W. Neatby, Ferme expérimentale centrale, Ottawa, ON K1A 0C6

M.R. Carter (AAC, Charlottetown, Î.-P.-É.)

J.L.B. Culley (AAC, Saskatoon, Sask.)

D.A. Holmstrom (AAC, Charlottetown, I.-P.-É.)

B.D. Kay (Université de Guelph, Guelph, Ont.)

G.P. Lafond (AAC, Indian Head, Sask.)

D.R. Langille (AAC, Truro, N.-É.)

R.A. McBride (Université de Guelph, Guelph, Ont.)

G.T. Patterson (AAC, Truro, N.-É.)

E. Perfect (Université de Guelph, Guelph, Ont.)

V. Rasiah (Université de Guelph, Guelph, Ont.)

A.V. Rodd (AAC, Kentville, N.-É.)

K.T. Webb (AAC, Truro, N.-É.)

K.C. Wires (AAC, Ottawa, Ont.)

Chapitre 7

G.J. Wall
CRTRB, Équipe pédologique, Division des ressources sur les terres, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire, 70 rue Fountain, Guelph, ON N1H 3N6

E.A. Pringle (AAC, Guelph Ont.)

G.A. Padbury (AAC, Saskatoon, Sask.)

H.W. Rees (AAC, Fredericton, N.-B.)

J. Tajek (AAC, Edmonton, Alb.)

L.J.P. van Vliet (AAC, Vancouver, C.-B.)

R.G. Eilers (AAC, Winnipeg, Man.)

J.-M. Cossette (AAC, Sainte-Foy, Qc)

Chapitre 8

R.G. Eilers
CRTRB/DT, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Édifice Ellis, Université du Manitoba,Winnipeg, MB R3T 2N2

W.D. Eilers (AAC, Saskatoon, Sask.)

G.W. Lelyk (AAC, Winnipeg, Man.)

W.W. Pettapiece (AAC, Edmonton, Alb.)

Chapitre 9

M.D. Webber
Wastewater Technology Centre, 867 Lakeshore Road, P.O. Box 5068, Burlington, ON L7R 4L7

S.S. Singh (AAC, Ottawa, Ont.)

Chapitre 10

W.D. Reynolds
CRTRB/DT, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Édifice K.W. Neatby, Ferme expérimentale centrale, Ottawa, ON K1A 0C6

C.A. Campbell (AAC, Swift Current, Sask.)

C. Chang (AAC, Lethbridge, Alb.)

C.M. Cho (Université du Manitoba, Winnipeg, Man.)

J.H. Ewanek (Manitoba Agriculture, Selkirk, Man.)

R.G. Kachanoski (Université de Guelph, Guelph, Ont.)

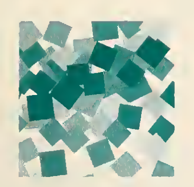
J.A. McLeod (AAC, Charlottetown, Î.-P-É.)

P.H. Milburn (AAC, Fredericton, N.-B.)

R.R. Simard (AAC, Sainte-Foy, Qc)

G.R.B. Webster (Université du Manitoba, Winnipeg, Man.)

B.J. Zebarth (AAFC, Agassiz, C.- B.)



Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes qui ont révisé cette publication:

Introduction/Comprendre la santé des sols/*Le développement et les effets de l'agriculture au Canada*: J.F. Dormaar (AAC, Lethbridge, Alb.), R.L. Halstead (retraité depuis, AAC, Ottawa, Ont.), et W.W. Pettapiece (AAC, Edmonton, Alb.).

Le développement et les effets de l'agriculture au Canada: l'auteur a puisé largement dans le rapport *Agriculture durable au Canada* (Anderson, D.W., C.J. Roppel et R.M. Gray, 1991) qui a été préparé par le Conseil des sciences du Canada et présenté au Comité des normes agricoles de la Chambre des Communes.

Un cadre géographique pour l'évaluation de la qualité des sols: R. McBride (Université de Guelph, Guelph, Ont.) et T. Wright (Administration du rétablissement agricole des Prairies, Regina, Sask.).

Lieux témoins destinés à la surveillance de la santé des sols agricoles: J. Millette et S. Nelson (tous deux de AAC, Ottawa, Ont.).

Révision française, P. Rochette, AAC, Ottawa.

Modification de la matière organique du sol: H.H. Janzen (AAC, Lethbridge, Alb.) et A. McKeague (retraité, AAC, Ottawa, Ont.).

Changements de la structure du sol: J. Caron (Université de Laval, Sainte-Foy, Qc), E. de Jong (Université de la Saskatchewan, Saskatoon, Sask.), L.J.P. van Vliet (AAC, Vancouver, C.-B.) et B.J. Zebarth (AAC, Agassiz, C.-B.).

Salinisation des sols: D.B. Harker et W. Harron (tous deux de l'Administration pour le rétablissement agricole des Prairies, Regina, Sask.) et H.S.A. Vander Pluym (Alberta Agriculture, Food, and Rural Development).

Contamination des sols agricoles: S. Clegg (OMAFRA, Guelph, Ont.) et A. McKeague (AAC, retraité, Ottawa, Ont.).

Contamination agrochimique des eaux souterraines: R.W. Gillham (Université de Waterloo, Waterloo, Ont.) et L. Henry (Université de la Saskatchewan, Saskatoon, Sask.).

Les auteurs tiennent à remercier les organismes suivants qui ont révisé en partie ou en totalité cette publication:

Integrated Management Section, Policy and Planning Branch, Saskatchewan Environment and Public Safety

Centre de recherches de Charlottetown, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Sustainable Development Branch, Saskatchewan Agriculture and Food

Irrigation and Resource Management Division, Alberta Agriculture

Resource Management Branch, British Columbia Ministry of Agriculture, Fisheries and Food

Service des sols, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

Centre de recherches de Lethbridge, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Centre de recherches de Fredericton, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Centre de recherches de Swift Current, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Soil and Land Management Division, Newfoundland Department of Fisheries, Food and Agriculture

Land Resources Branch, New Brunswick Department of Agriculture

Administration pour le rétablissement agricole des Prairies, Régina, Sask.

Les auteurs tiennent à remercier les personnes qui ont fourni des photos:

Chapitres 1 et 2: Collection de photos du CRTRB.

Chapitre 4 (encadré): C. Carter.

Chapitre 7: Fig. 7-1A à 7-1D, 7-2A et 7-2B, G.J. Wall, AAC, Guelph, Ont.
Fig. 7-1E, H.W. Rees, AAC, Fredericton, N.-B.,
Fig. 7-2C, D.R. Coote, AAC, Ottawa, Ont.
Encadré 2, G. Howe, PFRA, Shelterbelts Centre, Indian Head, Sask.

Chapitre 8: R.G. Eilers, AAC, Winnipeg, Man.

Chapitre 9: M.D. Webber, Wasterwater Technology Centre, Burlington, Ont.

Chapitre 10: W.D. Reynolds, AAC, Ottawa, Ont.

Les organismes suivants ont fourni des cartes:

Les données des cartes sont tirées du *Recensement du Canada*, Statistiques Canada. Compilation faite par les Unités pédologiques de l'Ontario et de la Saskatchewan. Préparation pour l'imprimerie, SISCan/Direction générale de la recherche, AAC, Ottawa, Ont.

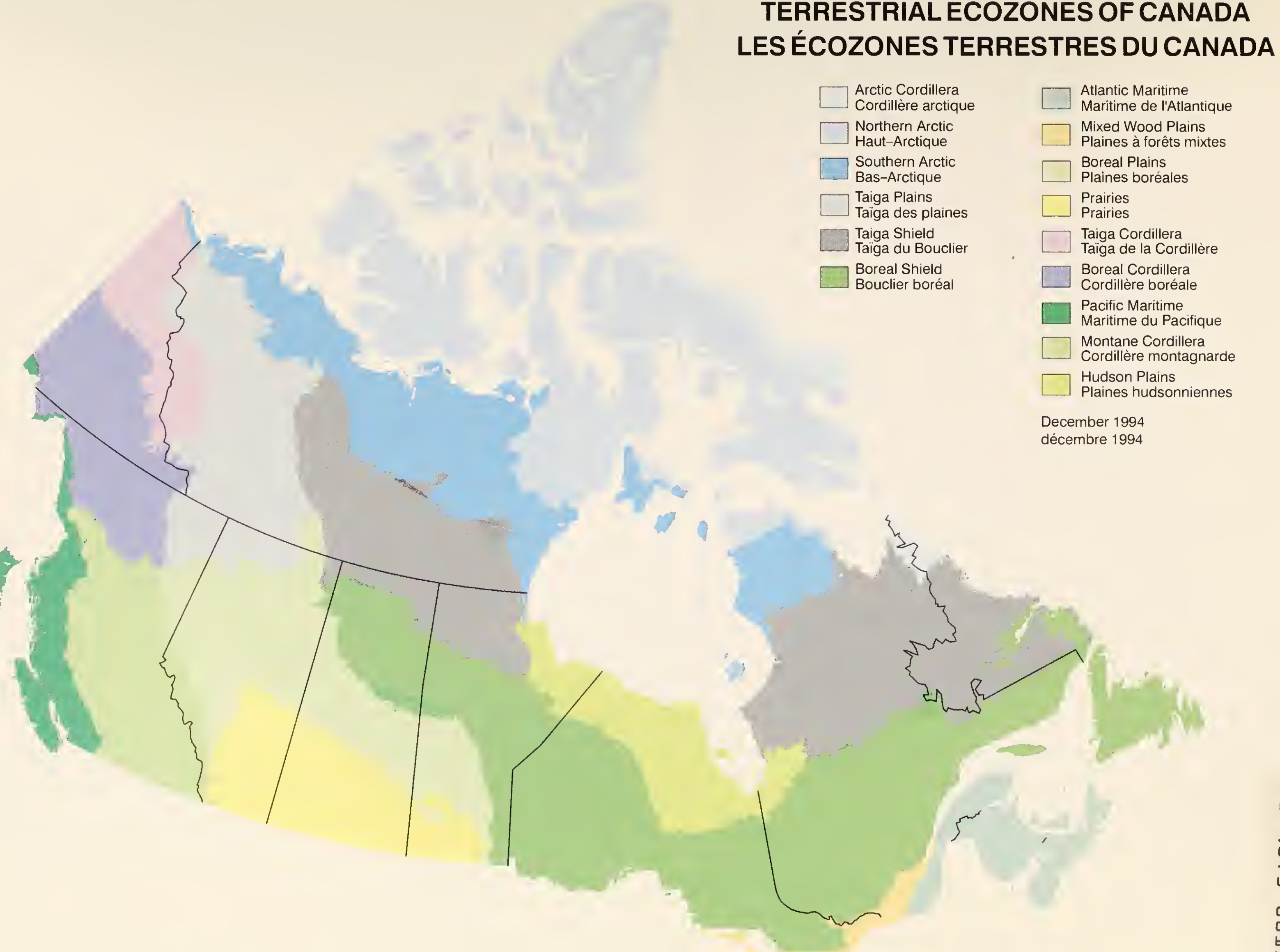
Sols du Canada: préparé par le Système canadien de classification des sols (SISCan, Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa.

Les écozones terrestres du Canada: Groupe de travail sur la stratification écologique, 1995. Un cadre écologique national pour le Canada., Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire, Direction générale de l'analyse des écozones, Direction de l'état de l'environnement, Environnement Canada. Cartes préparées par SISCan.

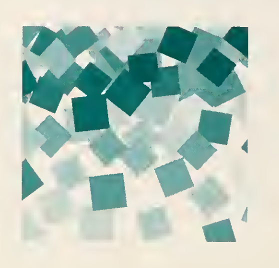
Les auteurs tiennent à remercier les organismes suivants qui ont contribué financièrement à cette publication:

Environnement Canada, la Direction de l'état de l'environnement, a contribué financièrement à la préparation des cartes du chapitre 3 (avec la collaboration de Ian Marshall, Direction générale de l'analyse des écozones).

Canada-Alberta Environmentally Sustainable Agriculture Agreement (CAESA) and Canada-Saskatchewan Agricultural Green Plan Agreement (CSAGPA) for increasing the printrun and distribution of the report.



TERRESTRIAL ECOZONES OF CANADA
LES ÉCOZONES TERRESTRES DU CANADA
Arctic Cordillera
Cordillère arctique
Northern Arctic
Haut-Arctique
Southern Arctic
Bas-Arctique
Taiga Plains
Taïga des plaines
Taiga Shield
Taïga du Bouclier
Boreal Shield
Bouclier boréal
Atlantic Maritime
Maritime de l'Atlantique
Mixed Wood Plains
Plaines à forêts mixtes
Boreal Plains
Plaines boréales
Prairies
Prairies
Taiga Cordillera
Taïga de la Cordillère
Boreal Cordillera
Cordillère boréale
Pacific Maritime
Maritime du Pacifique
Montane Cordillera
Cordillère montagnarde
Hudson Plains
Plaines hudsonniennes
December 1994
décembre 1994



Canada